



**PATENT APPLICATION**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re application of

Docket No: Q78162

Yoshiyuki FUKUMOTO, et al.

Appln. No.: 10/697,124

Group Art Unit: 2836

Confirmation No.: 8462

Examiner: Unknown

Filed: October 31, 2003

For: MAGNETORESISTANCE DEVICE AND METHOD OF FABRICATING THE SAME

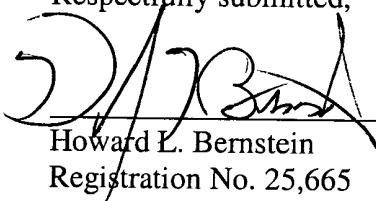
**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of the priority document on which a claim to priority was made under 35 U.S.C. § 119. The Examiner is respectfully requested to acknowledge receipt of said priority document.

Respectfully submitted,

  
Howard L. Bernstein  
Registration No. 25,665

SUGHRUE MION, PLLC  
Telephone: (202) 293-7060  
Facsimile: (202) 293-7860

WASHINGTON OFFICE  
**23373**  
CUSTOMER NUMBER

Enclosures: Japan 2002-319928

Date: April 1, 2004

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

Y. Fukumoto et al.  
10/697,124  
Filed 10/31/2003  
Q78162 10f1

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2002年11月 1日

出願番号 Application Number: 特願2002-319928

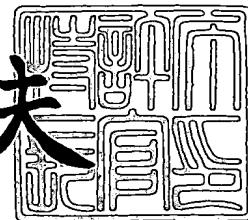
[ST. 10/C]: [JP2002-319928]

出願人 Applicant(s): 日本電気株式会社

2003年10月29日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 34002271

【提出日】 平成14年11月 1日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G11B 5/39

H01L 43/08

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7番 1号 日本電気株式会社内

【氏名】 福本 能之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7番 1号 日本電気株式会社内

【氏名】 志村 健一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7番 1号 日本電気株式会社内

【氏名】 上條 敦

【特許出願人】

【識別番号】 000004237

【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100102864

【弁理士】

【氏名又は名称】 工藤 実

【選任した代理人】

【識別番号】 100099553

【弁理士】

【氏名又は名称】 大村 雅生

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 053213

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【包括委任状番号】 9715177  
【ブルーフの要否】 要

【書類名】明細書

【発明の名称】 磁気抵抗デバイス

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 反転可能な自由自発磁化を有する自由強磁性層と、固定された固定自発磁化を有する固定強磁性層と、前記自由強磁性層と前記固定強磁性層との間に介設されたトンネル絶縁層を含む磁気抵抗素子と、  
前記磁気抵抗素子を他の素子に電気的に接続する非磁性の導体と、  
前記導体と前記磁気抵抗素子との間に設けられた酸化物層  
とを備えた  
磁気抵抗デバイス。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の磁気抵抗デバイスにおいて、  
前記酸化物層は、前記導体を構成する材料の少なくとも一種が前記磁気抵抗素子に拡散することを防止する機能を有する  
磁気抵抗デバイス。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の磁気抵抗デバイスにおいて、  
前記酸化物層は、前記磁気抵抗素子を構成する材料の少なくとも一種が前記磁気抵抗素子に拡散することを防止する機能を有する  
磁気抵抗デバイス。

【請求項 4】 請求項 1～請求項 3 のいずれかに記載の磁気抵抗デバイスにおいて、  
前記酸化物層は、その上面及び下面で接する層を構成する元素に対し、酸素に対する結合のしやすさが同等以上である元素の酸化物である  
磁気抵抗デバイス。

【請求項 5】 請求項 1～請求項 3 のいずれかに記載の磁気抵抗デバイスにおいて、  
前記導体は、Al, Cu, Ta, Ru, Zr, Ti, Mo, 及びWからなる群  
から選択された少なくとも一の元素を含む  
磁気抵抗デバイス。

【請求項 6】 請求項 1～請求項 3 のいずれかに記載の磁気抵抗デバイスに

において、

前記酸化物層は、 Al, Mg, Si, Hf, Li, Ca, 及びTiからなる群から選択された少なくとも一の元素の酸化物で形成された酸化物層である磁気抵抗デバイス。

【請求項7】 請求項1～請求項3のいずれかに記載の磁気抵抗デバイスにおいて、

前記酸化物層の膜厚は1nm以下である  
磁気抵抗デバイス。

【請求項8】 請求項1～請求項3のいずれかに記載の磁気抵抗デバイスにおいて、

前記トンネル絶縁層と前記酸化物層とは、同一の材料で形成された  
磁気抵抗デバイス。

【請求項9】 請求項8に記載の磁気抵抗デバイスにおいて、

前記酸化物層は、前記トンネル絶縁層よりも薄い  
磁気抵抗デバイス。

【請求項10】 請求項1～請求項3のいずれかに記載の磁気抵抗デバイスにおいて、

前記酸化物層の厚さ方向の抵抗は、前記トンネル絶縁層の厚さ方向の抵抗よりも低い  
磁気抵抗デバイス。

【請求項11】 請求項1に記載の磁気抵抗デバイスにおいて、

前記導体は、

前記トンネル絶縁層を介さずに前記固定強磁性層に電気的に接続される第1導体と、  
前記トンネル絶縁層を介さずに前記自由強磁性層に電気的に接続される第2導体

とを含み、  
前記酸化物層は、  
前記第1導体と前記固定強磁性層との間に介設される第1酸化物層と、

前記第2導体と前記自由強磁性層との間に介設される第2酸化物層とを含む

磁気抵抗デバイス。

**【請求項12】** 請求項11に記載の磁気抵抗デバイスにおいて、前記第1酸化物層と前記第2酸化物層とは、Al, Mg, Si, Hf, Li, Ca, 及びTiからなる群から選択された少なくとも一の元素の酸化物で形成された

磁気抵抗デバイス。

**【請求項13】** 請求項1に記載の磁気抵抗デバイスにおいて、Mnを含む層と前記導体、又は、Niを含む層と前記導体との間に、前記酸化物層を有する

磁気抵抗デバイス。

**【請求項14】** 請求項1に記載の磁気抵抗デバイスにおいて、前記導体は、前記トンネル絶縁層を介さずに前記固定強磁性層に電気的に接続される第1導体を含み、

前記酸化物層は、前記固定強磁性層と前記第1導体との間に介設される第1酸化物層を含み、

前記磁気抵抗素子は、前記固定強磁性層に接合され、且つ、Mnを含む反強磁性層を更に含み、

前記反強磁性層は、前記固定強磁性層と前記第1酸化物層との間に位置する磁気抵抗デバイス。

**【請求項15】** 請求項14に記載の磁気抵抗デバイスにおいて、前記固定強磁性層は、前記トンネル絶縁層に直接に接合する強磁性層と、前記強磁性層と前記反強磁性層との間に挿入される複合磁性層とを含み、

前記複合磁性層は、酸化されていない金属強磁性体を主成分とし、前記金属強磁性体よりも酸素と結合しやすく、且つ、非磁性の元素の酸化物を副成分として混合されて形成されている

磁気抵抗デバイス。

【請求項16】 請求項15に記載の磁気抵抗デバイスにおいて，前記強磁性層と，前記複合磁性層に含まれる前記金属強磁性体とは，Coを主成分とする金属強磁性合金から形成されている  
磁気抵抗デバイス。

【請求項17】 請求項1に記載の磁気抵抗デバイスにおいて，前記自由強磁性層は，前記トンネル絶縁層に直接に接合する強磁性層と，前記強磁性層に接合され，且つ，酸化されていない金属強磁性体を主成分とし，前記金属強磁性体よりも酸素と結合しやすく，且つ，非磁性である元素の酸化物を副線分として混合されて形成されている複合磁性層  
とを含む

磁気抵抗デバイス。

【請求項18】 請求項17に記載の磁気抵抗デバイスにおいて，前記強磁性層と，前記複合磁性層に含まれる前記金属強磁性体とは，Coを主成分とする金属強磁性合金から形成されている  
磁気抵抗デバイス。

【請求項19】 請求項1に記載の磁気抵抗デバイスにおいて，前記自由強磁性層は，Niを含み，前記導体は，前記トンネル絶縁層を介さずに前記自由強磁性層に電気的に接続される第2導体を含み，前記酸化物層は，前記自由強磁性層と前記第2導体との間に介設される第2酸化物層を含む  
磁気抵抗デバイス。

【請求項20】 請求項19に記載の磁気抵抗デバイスにおいて，前記自由強磁性層は，Niを含むNi含有強磁性膜を含み，前記第2酸化物層は，前記Ni含有強磁性膜に直接に接する  
磁気抵抗デバイス。

【請求項21】 請求項19に記載の磁気抵抗デバイスにおいて，

前記自由強磁性層は、

前記トンネル絶縁層に直接に接合する第1強磁性層と、

前記第1強磁性層に接合され、且つ、酸化されていない金属強磁性体を主成分とし、前記金属強磁性体よりも酸素と結合しやすく、且つ、非磁性の元素の酸化物を副成分として混合されて形成されている複合磁性層と、

前記複合磁性層に接合され、Niを含み、且つ、前記複合磁性層及び前記第1強磁性層よりも磁気的にソフトである第2強磁性層とを含む

磁気抵抗デバイス。

【請求項22】 請求項21に記載の磁気抵抗デバイスにおいて、

前記第1強磁性層と、前記複合磁性層に含まれる金属強磁性体は、Coを主成分とする金属強磁性合金から形成されている磁気抵抗デバイス。

【請求項23】 請求項1に記載の磁気抵抗デバイスにおいて、

前記自由強磁性層は、

前記トンネル絶縁層に直接に接合する第1強磁性層と、

前記第1強磁性層に接合され、且つ、酸化されていない金属強磁性体を主成分とし、前記金属強磁性体よりも酸素と結合しやすく、且つ、非磁性の元素の酸化物を副成分として混合されて形成されている第1複合磁性層と、

酸化されていない金属強磁性体を主成分とし、前記金属強磁性体よりも酸素と結合しやすく、且つ、非磁性の元素の酸化物を副成分として混合されて形成されている第2複合磁性層と、

前記第1複合磁性層と前記第2複合磁性層との間に介設され、前記第1複合磁性層と第2複合磁性層とを反強磁性的に結合する非磁性層とを含む

磁気抵抗デバイス。

【請求項24】 請求項23に記載の磁気抵抗デバイスにおいて、

前記第1強磁性層と、前記第1複合磁性層に含まれる前記金属強磁性体と、前記第2複合磁性層に含まれる金属強磁性体とは、Coを主成分とする金属強磁性

合金から形成されている

磁気抵抗デバイス。

【請求項25】 請求項1に記載の磁気抵抗デバイスにおいて，前記導体は，前記トンネル絶縁層を介さずに前記自由強磁性層に電気的に接続される第2導体を含み，

前記磁気抵抗素子は，更に，前記自由強磁性層にバイアス磁場を印加する磁気バイアス素子を含み，

前記磁気バイアス素子は，

磁気バイアス用強磁性層と，

前記磁気バイアス用強磁性層に接合され，Mnを含む磁気バイアス用反強磁性層とを備え，

前記酸化物層は，

前記磁気バイアス素子と前記自由強磁性層との間に介設される第1酸化物層と

，  
前記磁気バイアス素子と前記第2導体との間に介設された第2酸化物層とを含む

磁気抵抗デバイス。

【請求項26】 反転可能な自由自発磁化を有する自由強磁性層と，固定された固定自発磁化を有する固定強磁性層と，前記自由強磁性層と前記固定強磁性層との間に介設されたトンネル絶縁層を含む磁気抵抗素子と，

前記磁気抵抗素子を他の素子に電気的に接続する非磁性の導体と，

前記導体と前記磁気抵抗素子との間に設けられ，前記導体を構成する材料の少なくとも一種が前記磁気抵抗素子に拡散することを防止する機能を有する拡散防止層

とを備えた

磁気抵抗デバイス。

【請求項27】 反転可能な自由自発磁化を有する自由強磁性層と，固定された固定自発磁化を有する固定強磁性層と，前記自由強磁性層と前記固定強磁性層との間に介設されたトンネル絶縁層を含む磁気抵抗素子と，

前記磁気抵抗素子を他の素子に電気的に接続する非磁性の導体と、  
前記導体と前記磁気抵抗素子との間に設けられ、前記磁気抵抗素子を構成する  
材料の少なくとも一種が前記導体に拡散することを防止する機能を有する拡散防  
止層  
とを備えた  
磁気抵抗デバイス。

【請求項 28】 反転可能な自由自発磁化を有する自由強磁性層と、固定さ  
れた固定自発磁化を有する固定強磁性層と、前記自由強磁性層と前記固定強磁性  
層との間に介設されたトンネル絶縁層を含む磁気抵抗素子と、  
前記磁気抵抗素子を他の素子に電気的に接続する非磁性の導体と、  
前記導体と前記磁気抵抗素子との間に設けられ、前記導体と前記磁気抵抗素子  
との間の相互拡散を防止する機能を有する拡散防止層  
とを備えた  
磁気抵抗デバイス。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気抵抗デバイスに関し、特に、トンネル磁気抵抗効果（TMR効  
果）を示す磁気トンネル接合（MTJ）を含む磁気抵抗デバイスに関する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

2つの強磁性体層と、これらの強磁性体層に挟まれたトンネル障壁層（トンネ  
ル絶縁層）とで構成される磁気トンネル接合は、該強磁性体層の磁化の相対方向  
に依存して、その抵抗が大きく変化する。このような現象は、トンネル磁気抵抗  
効果と呼ばれる。磁気トンネル接合の抵抗を検出することにより、強磁性体層の  
磁化の方向を判別することが可能である。このような磁気トンネル接合の性質を  
利用して、磁気トンネル接合を含む磁気抵抗デバイスは、不揮発的にデータを保  
持する磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM），及びハードディスク用の磁気  
読み取りヘッドに適用される。

**【0003】**

磁気トンネル接合を含む磁気抵抗素子は、典型的には、固定強磁性層と、自由強磁性層と、固定強磁性層と自由強磁性層との間に介設されたトンネル絶縁層とを含んで構成される。固定強磁性層は、向きが固定された自発磁化を有し、自由強磁性層は、向きが反転可能な自発磁化を有している。

**【0004】**

自発磁化の向きを強固に固定するために、固定強磁性層は、しばしば、反強磁性層に接合して形成される。反強磁性層が固定強磁性層に与える交換相互作用は、固定強磁性層の自発磁化を強固に固定する。反強磁性層は、一般に、IrMn, PtMnのようなMnを含む反強磁性体で形成される。

**【0005】**

更に、自由強磁性層は、しばしば、高いスピン分極率を有する強磁性体で形成されたハード強磁性層と、ソフトな強磁性体で形成されたソフト強磁性層とで構成される。このような自由強磁性層の構造は、磁気トンネル接合の磁気抵抗変化率(MR比)を大きくしながら、自由強磁性層の自発磁化の反転を容易にすることを可能にする。ハード強磁性層は、一般に、Co, CoFe等のCoを含む強磁性体で形成され、ソフト強磁性層は、一般に、NiFe等のNiを含む強磁性体で形成される。

**【0006】**

磁気抵抗素子の課題の一つは、熱的な安定性である。磁気抵抗素子に高い温度が加えられると、磁気抵抗素子を構成する層の間で相互拡散が発生する。この相互拡散は、磁気抵抗素子の特性、特にMR比を劣化させる。例えば、特許文献1は、ハード強磁性層とソフト強磁性層との間の相互拡散の問題を指摘している。特に問題になるのは、ソフト強磁性層に含まれるNiがハード強磁性層に拡散することである。Niのハード強磁性層への拡散は、磁気抵抗素子の特性を劣化させる。特許文献1は、ハード強磁性層とソフト強磁性層との間に、相互拡散を防止する酸化膜又は窒化膜を設けることを開示している。特許文献2は、Mnを含む反強磁性体からMnが固定強磁性層に拡散する問題を指摘している。特許文献2は、固定強磁性層を2つの強磁性層と、該強磁性層の間に介設された絶縁層又

はアモルファス磁性層とで形成することにより、Mnの固定強磁性層への拡散を防止する技術を開示している。特許文献3は、固定強磁性層及び自由強磁性層に酸化物磁性層を挿入することにより磁気抵抗素子の熱的安定性を向上する技術を開示している。特許文献4は、自由強磁性層と、自由強磁性層の結晶性を向上するために自由強磁性層の下に形成されるバッファ層との間の相互拡散の問題を指摘している。特許文献4は、酸化物、窒化物、炭化物、ホウ化物、フッ化物などからなる原子拡散バリヤ層を自由強磁性層とバッファ層との間に形成することにより、バッファ層と熱拡散を抑制し、熱安定性を向上する技術を開示している。

### 【0007】

磁気抵抗素子を機能させるためには、磁気抵抗素子を他の素子（例えばトランジスタ）に電気的に接続する必要がある。このため、磁気抵抗素子は、他の素子に電気的に接続された導体（例えば、ビア及び配線）に接続される。このような導体は、一般に、他の半導体集積回路と同様にAl、Cu、W、及びTiNで形成される。Ta、Ru、Zr、及びMo層が磁気抵抗素子と他の素子とを電気的に接続する導体として使用されることもある。

### 【0008】

発明者は、磁気抵抗素子と他の素子とを電気的に接続する導体と、該磁気抵抗素子との間の相互拡散が、磁気抵抗素子の特性に悪影響を及ぼすことを見出した。第1に、該導体を構成する材料が磁気トンネル接合に拡散すると、磁気トンネル接合のMR比が劣化する。特に、該導体がAlを含む場合には、Alは比較的に低い温度によって拡散するため、Alの磁気トンネル接合への拡散の問題は重大である。また、該導体を構成する材料、特にAlが反強磁性層やソフト強磁性層に拡散することによって、反強磁性層のMnやソフト強磁性層のNiのトンネル障壁層への拡散が一層に促進させられるため、該導体を構成する材料の磁気抵抗素子への拡散の問題は重大である。更に、磁気抵抗素子を構成する材料が、磁気抵抗素子と他の素子とを電気的に接続する導体に拡散すると、該導体の抵抗が増大する。導体の抵抗率の増大は、磁気トンネル接合の抵抗の検出のSN比を劣化させる。特に、反強磁性体に含まれるMn、及びソフト強磁性層に含まれるNiは、比較的に低い温度によって拡散するため、Mn及びNiの拡散による抵抗

の増大の問題は重大である。

### 【0009】

磁気抵抗素子と他の素子とを電気的に接続する導体と、該磁気抵抗素子との間の相互拡散を抑制する技術の提供が望まれる。

### 【0010】

#### 【特許文献1】

特開2000-20922号公報

#### 【特許文献2】

特開2002-158381号公報

#### 【特許文献3】

特開2001-237471号公報

#### 【特許文献4】

特開平10-65232号公報

### 【0011】

#### 【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、磁気抵抗素子の熱的安定性を、一層に向上する技術を提供することにある。

本発明の他の目的は、磁気抵抗素子を他の素子に電気的に接続する導体（例えば、ビア及び配線）と、磁気抵抗素子を構成する層との間の相互拡散を防止することにより、磁気抵抗素子の熱的安定性を、一層に向上する技術を提供することにある。

本発明の更に他の目的は、磁気抵抗素子を構成する層に含まれる材料、特にNi, Mnが、磁気抵抗素子を他の素子に電気的に接続する導体に拡散することにより、該導体の抵抗率が増大する現象を防止する技術を提供することにある。

本発明の更に他の目的は、磁気抵抗素子を他の素子に電気的に接続する導体に含まれる材料が、磁気抵抗素子に拡散することにより、磁気抵抗素子の特性が劣化する現象を防止する技術を提供することにある。

本発明の更に他の目的は、磁気抵抗素子の固定強磁性層及び自由強磁性層内の磁気的結合および電気的結合を保ちつつ、磁気抵抗素子に含まれるMnやNiが

磁気抵抗素子のトンネル絶縁層に拡散することによって磁気抵抗素子の特性が劣化する減少を防止する技術を提供することにある。

### 【0012】

#### 【課題を解決するための手段】

以下に、【発明の実施の形態】で使用される番号・符号を用いて、課題を解決するための手段を説明する。これらの番号・符号は、【特許請求の範囲】の記載と【発明の実施の形態】の記載との対応関係を明らかにするために付加されている。但し、付加された番号・符号は、【特許請求の範囲】に記載されている発明の技術的範囲の解釈に用いてはならない。

### 【0013】

本発明による磁気抵抗デバイスは、反転可能な自由自発磁化を有する自由強磁性層（10）と、固定された固定自発磁化を有する固定強磁性層（8）と、自由強磁性層（10）と固定強磁性層（8）との間に介設されたトンネル絶縁層（9）を含む磁気抵抗素子（4）と、磁気抵抗素子（4）を他の素子に電気的に接続する非磁性の導体（2，3，11，22）と、導体（2，3，11，22）と磁気抵抗素子（4）との間に設けられた酸化物層（13，14，21）とを備えている。磁気抵抗素子（4）を他の素子に電気的に接続する非磁性の導体（2，3，11，22）とは、典型的には、ビア、及び配線層である。

### 【0014】

酸化物層（13，14，21）は、導体（2，3，11，22）を構成する材料の少なくとも一種が磁気抵抗素子（4）に拡散することを防止する機能を有するように形成される。更に、酸化物層（13，14，21）は、磁気抵抗素子（4）を構成する材料の少なくとも一種が磁気抵抗素子（4）に拡散することを防止する機能を有するように形成される。酸化物で形成される酸化物層（13，14，21）は、容易に緻密に形成可能であり拡散防止効果が大きい。

### 【0015】

酸化物層（13，14，21）は、導体（2，3，11，22）から磁気抵抗素子（4）への拡散と、磁気抵抗素子（4）から導体（2，3，11，22）への拡散との両方を防止する機能を有することは重要である。導体（2，3，11

, 22) から磁気抵抗素子 (4) への拡散と磁気抵抗素子 (4) から導体 (2, 3, 11, 22) への拡散とのうちの一方の発生は、他方の発生の原因となる。従って、酸化物層 (13, 14, 21) が、これらの2つの拡散形態の両方を防止することは、磁気抵抗素子 (4) の特性の向上の観点から極めて好適である。

#### 【0016】

酸化物層 (13, 14, 21) は、その上面及び下面で接する層を構成する元素に対し、酸素に対する結合のしやすさが同等以上である元素の酸化物から構成されることが好ましい。

#### 【0017】

このような構造は、導体 (2, 3, 11, 22) が Al, Cu, Ta, Ru, Zr, Ti, Mo, 及び W からなる群から選択された少なくとも一の元素を含む場合に有効である。

#### 【0018】

酸化物層 (13, 14, 21) は、Al, Mg, Si, Hf, Li, Ca, 及び Ti からなる群から選択された少なくとも一の元素の酸化物で形成されることが好適である。上記の群に含まれる元素の酸化物は、拡散の抑制効果が高い。

#### 【0019】

この場合、酸化物層 (13, 14, 21) の膜厚は 1 nm 以下であることが好適である。1 nm 以下の厚さの酸化物層 (13, 14, 21) には、トンネル電流が流れやすく、酸化物層 (13, 14, 21) の抵抗を実質的に無視できる程度に小さくすることができる。酸化物層 (13, 14, 21) の抵抗が小さいことは、自由強磁性層 (10) の自発磁化の向きの検出の S/N 比を高くする。

#### 【0020】

トンネル絶縁層 (9) と酸化物層 (13, 14, 21) とは、同一の材料で形成されることが好適である。このような構造は、トンネル絶縁層 (9) と酸化物層 (13, 14, 21) の形成に必要なコストを有効に削減する。この場合、酸化物層 (13, 14, 21) は、トンネル絶縁層 (9) よりも薄いことが好適である。

#### 【0021】

自由強磁性層（10）の自発磁化の向きの検出のS/N比を高くするためには、酸化物層（13，14，21）の厚さ方向の抵抗は、トンネル絶縁層（9）の厚さ方向の抵抗よりも低いことが好適である。

#### 【0022】

導体（2，3，11，22）が、トンネル絶縁層（9）を介さずに固定強磁性層（8）に電気的に接続される第1導体（2，11）と、トンネル絶縁層（9）を介さずに自由強磁性層（10）に電気的に接続される第2導体（3，22）とを含む場合、酸化物層（13，14，21）は、第1導体（2，11）と固定強磁性層（8）との間に介設される第1酸化物層（13）と、第2導体（3，22）と自由強磁性層（10）との間に介設される第2酸化物層（14，21）とを含むことが好適である。このような構造は、固定強磁性層（8）と第1導体（2，11）との間の相互拡散、及び自由強磁性層（10）と第2導体（3，22）との間の相互拡散の両方を効果的に防止する。

#### 【0023】

この場合、第1酸化物層（13）と第2酸化物層（14，21）とは、Al, Mg, Si, Hf, Li, Ca, 及びTiからなる群から選択された少なくとも一の元素の酸化物で形成されていることが好適である。

#### 【0024】

当該磁気抵抗デバイスは、Mnを含む層（7）を含む場合がある。PtMn, IrMnのような反強磁性体で形成された層は、典型的な、Mnを含む層（7）である。この場合、酸化物層（13）は、Mnを含む層（7）と導体（2，11）との間に介設されていることが好適である。更に当該磁気抵抗デバイスは、Niを含む層（10）を含む場合がある。NiFeのような磁気的にソフトな強磁性体で形成された層は、典型的な、Niを含む層（7）である。この場合、酸化物層（14，21）は、Niを含む層（10）と導体（3，22）との間に介設されていることが好適である。

#### 【0025】

導体（2，3，11，22）が、トンネル絶縁層（9）を介さずに固定強磁性層（8）に電気的に接続される第1導体（2，11）を含み、酸化物層（13，

14, 21) が、酸化物で形成され、且つ、固定強磁性層(8)と第1導体(2, 11)との間に介設される第1酸化物層(13)を含み、磁気抵抗素子(4)は、固定強磁性層(8)に接合され、且つ、Mnを含む反強磁性層(7)を更に含む場合、反強磁性層(7)は、固定強磁性層(8)と第1酸化物層(13)との間に位置することが好適である。かかる構造は、反強磁性層(7)から第1導体(2, 11)へのMnの拡散を有效地に防止できる。

### 【0026】

固定強磁性層(8)は、トンネル絶縁層(9)に直接に接合する強磁性層(8b)と、強磁性層(8b)と反強磁性層(7)との間に挿入される複合磁性層(8a)とを含み、複合磁性層(8a)は、酸化されていない金属強磁性体を主成分とし、前記金属強磁性体よりも酸素と結合しやすく、且つ、非磁性の元素の酸化物を副成分として混合されて形成されていることが好適である。かかる構造を有する複合磁性層(8a)は、反強磁性層(7)から強磁性層(8b)に交換相互作用を伝達する一方で、反強磁性層(7)に含まれるMnのトンネル絶縁層(9)への拡散を有效地に防止する。これにより、複合磁性層(8a)と強磁性層(8b)とを固定強磁性層(8)として機能させるとともに、Mnの拡散による磁気トンネル接合の劣化を抑制することができる。強磁性層(8b)と、複合磁性層(8a)に含まれる金属強磁性体は、Coを主成分とする金属強磁性合金から形成されていることが望ましい。Coはスピン分極率が高く、酸化されにくく、且つ、熱的に安定で拡散しにくい。

### 【0027】

自由強磁性層(10)は、トンネル絶縁層(9)に直接に接合する強磁性層(10a)と、強磁性層(10a)に接合され、且つ、酸化されていない金属強磁性体を主成分とし、前記金属強磁性体よりも酸素と結合しやすく、且つ、非磁性の元素の酸化物を副成分として混合されて形成されている複合磁性層(10b)とを含むことが好ましい。かかる構造を有する複合磁性層(10b)は、結晶磁気異方性が小さくなるために比較的に磁気的にソフトであり、Niを含まずに磁気的にソフトな自由強磁性層(10)を実現することを可能にする。

### 【0028】

自由強磁性層（10）が、Niを含み、導体（2, 3, 11, 22）が、トンネル絶縁層（9）を介さずに自由強磁性層（10）に電気的に接続される第2導体（3, 22）を含む場合、酸化物層（13, 14, 21）は、酸化物で形成され、且つ、自由強磁性層（10）と第2導体（3, 22）との間に介設される第2酸化物層（14, 21）を含むことが好適である。このような構造は、第2導体（3, 22）を構成する材料の磁気抵抗素子（4）への拡散を防止するとともに、自由強磁性層（10）に含まれるNiの第2導体（3, 22）への拡散を防止する。

### 【0029】

この場合、前記第2酸化物層（14）は、自由強磁性層（10）を構成し、Niを含むNi含有強磁性膜（10, 10c）に直接に接することが好適である。この構造は、Ni含有強磁性膜（10, 10c）の組成ずれを防止し、磁気抵抗素子（4）の特性を向上する。

### 【0030】

自由強磁性層（10）は、Niを含まず、且つ、トンネル絶縁層（9）に直接に接合する第1強磁性層（10a）と、第1強磁性層に接合され、且つ、酸化されていない金属強磁性体を主成分とし、前記金属強磁性体よりも酸素と結合しやすく、且つ、非磁性の元素の酸化物を副成分として混合されて形成されている複合磁性層（10b）と、複合磁性層（10b）に接合され、Niを含み、且つ、複合磁性層（10b）及び第1強磁性層（10a）よりも磁気的にソフトである第2強磁性層（10c）とを含むことも好適である。複合磁性層（10b）は、第2強磁性層（10c）からトンネル絶縁層（9）へのNiの拡散を防止する一方、第2強磁性層（10c）から第1強磁性層（10a）への交換相互作用を媒介する。これにより、磁気的にソフトであり、且つ、Niのトンネル絶縁層（9）への拡散が発生しない磁気抵抗デバイスが実現可能になる。第1強磁性層（10a）と複合磁性層（10b）に含まれる金属強磁性体とは、Coを主成分とする金属強磁性合金から形成されていることが望ましい。Coはスピン分極率が高く、酸化されにくく、且つ、熱的に安定で拡散しにくい。

### 【0031】

自由強磁性層（10）は、トンネル絶縁層（9）に直接に接合する第1強磁性層（10d）と、第1強磁性層（10d）に接合され、且つ、酸化されていない金属強磁性体と非磁性の金属の酸化物とが混合されて形成されている第1複合磁性層（10e）と、酸化されていない金属強磁性体と非磁性の金属の酸化物とが混合されて形成されている第2複合磁性層（10g）と、第1複合磁性層（10e）と第2複合磁性層（10g）との間に介設され、第1複合磁性層（10e）と第2複合磁性層（10g）とを反強磁性的に結合する非磁性層（10f）とを含むことが好適である。非磁性層（10f）は、第2複合磁性層（10g）の自発磁化と、第1複合磁性層（10e）及び第1強磁性層（10d）の自発磁化とを反平行に保ち、これにより、自由強磁性層（10）を一層に磁気的にソフトにする。かかる構造は、Niを使用せずに自由強磁性層（10）を磁気的にソフトにすることを可能にする。

### 【0032】

自由強磁性層（10）を一層に磁気的にソフトにするためには、自由強磁性層（10）は、更に、第2複合磁性層（10g）に接合され、Niを含み、且つ、第1複合磁性層（10e）、第2複合磁性層（10g）及び第1強磁性層（10d）よりも磁気的にソフトである第2強磁性層（10h）を含むことが好適である。第2強磁性層（10h）が含むNiは、自由強磁性層（10）を一層に磁気的にソフトにする。Niがトンネル絶縁層（9）に拡散するという問題は、第1複合磁性層（10e）、及び第2複合磁性層（10g）がNi拡散を防止するため回避可能である。更に、Niが自由強磁性層（10）に電気的に接続される第2導体（3、22）に拡散するという問題は、自由強磁性層（10）と第2導体（3、22）との間に、酸化物で形成された第2酸化物層（14）が設けられることにより回避可能である。第1強磁性層（10d）と、前記第1複合磁性層（10e）に含まれる金属強磁性体と、前記第2複合磁性層（10g）に含まれる金属強磁性体とは、Coを主成分とする金属強磁性合金から形成されていることが望ましい。Coはスピニ分極率が高く、酸化されにくく、且つ、熱的に安定で拡散しにくい。

### 【0033】

自由強磁性層（10）が第1複合磁性層（10e）と非磁性層（10f）と第2複合磁性層（10g）とを含む場合、自由強磁性層（10）は、更に、第1複合磁性層（10e）と非磁性層（10f）との間に介設された第3強磁性層（10i）と、第2複合磁性層（10g）と非磁性層（10f）との間に介設された第4強磁性層（10i）とを含み、第3強磁性層（10i）と第4強磁性層（10i）とは、Coを主成分とする金属強磁性層で形成されることが好適である。

#### 【0034】

当該磁気抵抗デバイスが、更に、前記自由強磁性層（10）にバイアス磁場を印加する磁気バイアス素子（20）を備え、磁気バイアス素子（20）が磁気バイアス用強磁性層（17）と、磁気バイアス用強磁性層（17）に接合され、Mnを含む磁気バイアス用反強磁性層（18）とを含む場合、酸化物層（13, 14, 21）は、磁気バイアス素子（20）と自由強磁性層（10）との間に介設される第1酸化物層（14）と、磁気バイアス素子（20）と第2導体（3, 22）との間に介設された第2酸化物層（21）とを含むことが好適である。

#### 【0035】

##### 【発明の実施の形態】

本発明による磁気抵抗素子の実施の第1形態は、図1に示されているように、クロスポイントセル型のMRAMである。実施の第1形態では、基板1の上面側に、下部配線2と上部配線3とが形成されている。下部配線2と上部配線3とは、Al<sub>90</sub>Cu<sub>10</sub>で形成されている。

#### 【0036】

下部配線2と上部配線3との間には、MRAMのメモリセルとして機能する磁気抵抗素子4が設けられている。磁気抵抗素子4は、シード層5、バッファ層6、反強磁性層7、固定強磁性層8、トンネル絶縁層9、及び自由強磁性層10を含む。磁気抵抗素子4の固定強磁性層8、トンネル絶縁層9、及び自由強磁性層10は、磁気トンネル接合を構成する。

#### 【0037】

固定強磁性層8は、スピニ分極率の高い金属強磁性合金、典型的には、CoFeで形成される。CoFe合金は、磁気的に比較的ハードな（即ち、保磁力が大

きい) 強磁性体である。後述されるように、固定強磁性層8の自発磁化は、反強磁性層7からの交換相互作用によって固定される。

#### 【0038】

自由強磁性層10は、磁気的に比較的ソフトな(即ち、保磁力が小さい)強磁性体で形成される。自由強磁性層10は、その自発磁化が反転可能であり、且つ、該自発磁化の向きが、固定強磁性層8の自発磁化と平行(parallel)，又は反平行(antiparallel)のいずれかを向くように形成されている。自由強磁性層10の自発磁化は反転可能であり、磁気抵抗素子4は、1ビットのデータを自由強磁性層10の自発磁化の向きとして記憶する。

#### 【0039】

自発磁化が反転される自由強磁性層10は、Niを含む強磁性体、典型的にはNiFeで形成される。一般に、Niを含む強磁性体は、比較的磁気的にソフトであり、自発磁化が反転される自由強磁性層10の形成に好適である。自由強磁性層10は、トンネル絶縁層9の上に形成されるCoFe層と、該CoFe層の上に形成されるNiFe層とで構成されることがある。スピン分極率が高いCoFe層により磁気トンネル接合のMR比が向上される一方、NiFe層は、CoFe層を磁気的にソフト化し、保磁力を低下させる。CoFe層とNiFe層とで形成される積層構造は、自発磁化の反転が容易で、且つ、MR比が高い磁気トンネル接合を実現する。

#### 【0040】

トンネル絶縁層9は、トンネル電流が流れる程度に薄い非磁性の絶縁体で形成される。トンネル絶縁層9は、典型的には、AlO<sub>x</sub>、AlN<sub>x</sub>、MgO<sub>x</sub>で形成され、その厚さは、磁気抵抗素子4に求められる抵抗に応じて設定され、典型的には1.2～2nmである。トンネル磁気抵抗効果(TMR効果)により、トンネル絶縁層9の厚さ方向の抵抗値は、固定強磁性層8の自発磁化と自由強磁性層10の自発磁化とが、平行であるか、反平行によって異なる。トンネル絶縁層9の厚さ方向の抵抗値によって磁気抵抗素子4に記憶されているデータの判別が可能である。

#### 【0041】

シード層5及びバッファ層6は、その上に設けられる反強磁性層7の配向を制御し、反強磁性層7の反強磁性相を安定化するために設けられる。シード層5は、典型的にはTa, Crで形成され、シード層5の上に設けられるバッファ層6は、典型的には、NiFe, CoFeで形成される。

#### 【0042】

反強磁性層7は、Mnを含む反強磁性体、典型的には、PtMn及びIrMnで形成される。反強磁性層7は、その直上に接合される固定強磁性層8に交換相互作用を及ぼし、固定強磁性層8の自発磁化を固定する。

#### 【0043】

磁気抵抗素子4と下部配線2との間には、ビア11、下部コンタクト層12、及び酸化物層13が設けられる。ビア11、下部コンタクト層12、及び酸化物層13を介して、磁気抵抗素子4の固定強磁性層8は、下部配線2に電気的に接続される。ビア11は、下部配線2に接合され、基板1の主面に垂直な方向に延設されている。ビア11は、典型的には、タンゲステン、銅、モリブデンで形成される。

#### 【0044】

下部コンタクト層12は、ビア11の上に設けられている。下部コンタクト層12は、ビア11に対する良好な付着層として機能し、且つ、その上部の酸化物層13の膜質を向上させる。更に下部コンタクト層12は、ビア11と酸化物層13との間の良好な電気的接触を保つ。下部コンタクト層12は、典型的には、TiN, Ta, Ru, W, Zr, 及びMoで形成される。

#### 【0045】

酸化物層13は、下部配線2、ビア11及び下部コンタクト層12と、磁気抵抗素子4との間の相互拡散を効果的に防止する。即ち、酸化物層13は、下部配線2を構成するアルミニウム及び銅、ビア11を構成するタンゲステン、銅、及びモリブデン、並びに、下部コンタクト層12を構成するTiN, Ta, Ru, W, Zr, 及びMoが、磁気抵抗素子4に拡散することを有効に防止する。更に、酸化物層13は、バッファ層6を構成するNi, 及び反強磁性層7を構成するMnが、下部配線2に拡散することを有効に防止する。酸化物で形成された酸化

物層13は、その構造を緻密にすることが容易であり、相互拡散を有効に防止可能である。

#### 【0046】

酸化物層13が、下部配線2、ビア11及び下部コンタクト層12から磁気抵抗素子4への拡散と、磁気抵抗素子4から下部配線2、ビア11及び下部コンタクト層12への拡散との両方を防止する機能を有することは重要である。下部配線2、ビア11及び下部コンタクト層12から磁気抵抗素子4への拡散と磁気抵抗素子4から下部配線2、ビア11及び下部コンタクト層12への拡散とのうちの一方の発生は、他方の発生の原因となる。従って、酸化物層13が、これらの2つの拡散形態の両方を防止することは、磁気抵抗素子4の特性の向上の観点から極めて好適である。

#### 【0047】

酸化物層13は、Al, Mg, Si, Hf, Li, Ca, 及びTiの酸化物で形成されることが好適である。これらの元素の酸化物で形成された酸化物層13は、その構造が非常に緻密であり、酸素との結合力が高いため熱的安定性が高く、相互拡散の抑制効果が大きい。

#### 【0048】

特にMnの拡散を防止するために、酸化物で形成された膜を使用することは、Mnの拡散を有効に抑制する点で好適である。Mnは、酸素に対して結合しやすい。このため、酸化物で形成されている酸化物層13にMnが拡散すると、拡散されたMnは、酸素と結合して安定化され、酸化物層13に固定される。Mnが酸化物層13に固定されることにより、Mnの下部配線2への拡散が効果的に防止される。

#### 【0049】

酸化物層13は、その下面（基板1の側の面）及び上面に接する層（即ち、下部コンタクト層12及びシード層5）を構成する材料よりも、酸素と結合する力が大きい材料の酸化物を用いることが好適である。そうでない材料の酸化物を酸化物層13に使用することは、酸化物層13の下面及び上面に接する層に酸素が拡散し、酸化物層13の拡散防止効果を失わせるため好適でない。下部コンタク

ト層12にTa, シード層5にTa; 又はCrを使用する場合には、それより酸化物生成自由エネルギーが低いAl, Mg, Si, Hf, Li, Ca, 及びTiの酸化物を酸化物層13として使用することが好適である。

#### 【0050】

トンネル絶縁層9の抵抗の検出におけるSN比を向上するためには、酸化物層13の厚さ方向の抵抗は、なるべく小さいことが好適である。酸化物層13は、磁気トンネル接合に、電気的に直列に接続されるため、酸化物層13の厚さ方向の抵抗は、トンネル絶縁層9の抵抗の検出におけるSN比を劣化させる。したがって、酸化物層13の厚さ方向の抵抗は、小さいことが好適であり、より具体的には、トンネル絶縁層9の厚さ方向の抵抗より小さいことが好適である。

#### 【0051】

酸化物層13の厚さが1nm以下であることは、酸化物層13の厚さ方向の抵抗を実質的になくすことができる点で好適である。酸化物層13の厚さを1nm以下にすることにより、酸化物層13の抵抗は、トンネル現象によって極度に小さくなる。

#### 【0052】

トンネル絶縁層9と酸化物層13とを同一の材料で形成することは、トンネル絶縁層9と酸化物層13とを共通の装置及び材料で形成でき、MRAMの製造に要するコストを低減できる点で好適である。例えば、トンネル絶縁層9と酸化物層13とをスパッタによって形成する場合、トンネル絶縁層9と酸化物層13とを同一の材料で形成することにより、トンネル絶縁層9と酸化物層13とを同一のスパッタターゲットを使用して形成することが可能になる。

#### 【0053】

トンネル絶縁層9と酸化物層13とが同一の材料で形成される場合、トンネル絶縁層9の抵抗の検出におけるSN比を向上するためには、酸化物層13の膜厚は、トンネル絶縁層9の膜厚よりも薄いことが好適である。これにより、酸化物層13の厚さ方向の抵抗がトンネル絶縁層9の厚さ方向の抵抗より小さくなり、トンネル絶縁層9の抵抗の検出におけるSN比を向上することができる。

#### 【0054】

上部配線3と磁気抵抗素子4との間には、酸化物層14と上部コンタクト層15とが設けられている。酸化物層14は、磁気抵抗素子4の自由強磁性層10の上に形成されている。上部コンタクト層15は、酸化物層14の上に形成され、上部配線3と接合される。磁気抵抗素子4の自由強磁性層10は、酸化物層14と上部コンタクト層15とを介して上部配線3に電気的に接続されている。

#### 【0055】

上部コンタクト層15は、上部コンタクト層15よりも下部の層を素子加工プロセスによるダメージから保護し、且つ、酸化物層14と上部配線3との間の良好な電気的接触を保つ。上部コンタクト層15は、典型的には、TiN, Ta, Ru, W, Zr, 及びMoで形成される。

#### 【0056】

酸化物層14は、上部配線3と磁気抵抗素子4との間の相互拡散を効果的に防止する。即ち、酸化物層14は、上部配線3を構成するアルミニウム及び銅の磁気抵抗素子4への拡散を防止し、自由強磁性層10に含まれるNiの上部配線3への拡散を防止する。Niの上部配線3への拡散を抑制することにより、上部配線3の抵抗の上昇が防止される。酸化物で形成された酸化物層14は、その構造を緻密にすることが容易であり、相互拡散を有効に防止可能である。酸化物層13と同様の理由により、酸化物で形成された酸化物層14は、Niの拡散を有効に抑制する点で好適である。

#### 【0057】

酸化物層13と同様に、酸化物層14が上部配線3から自由強磁性層10への拡散と自由強磁性層10から上部配線3への拡散の両方を防止する機能を有することは重要である。酸化物層13が、これらの2つの拡散形態の両方を防止することは、磁気抵抗素子4の特性の向上の観点から極めて好適である。

#### 【0058】

酸化物層14に求められる物性は、酸化物層13と同様であり、酸化物層13に好適な材料及び構造は、酸化物層14にも好適である。第1に、酸化物層14の構造を緻密化して、且つ、高温まで熱的安定性を保ち、相互拡散の抑制効果を増大するためには、酸化物層14は、Al, Mg, Si, Hf, Li, Ca, 及

びT iの酸化物で形成することが好適である。更に、トンネル絶縁層9の抵抗の検出のS N比を向上するためには、酸化物層14の厚さ方向の抵抗は、トンネル絶縁層9の厚さ方向の抵抗より小さいことが好適である。更に、酸化物層14の厚さが1nm以下であることは、酸化物層14の抵抗を極度に小さくし、トンネル絶縁層9の抵抗の検出のS N比を向上する点から好適である。更に、トンネル絶縁層9と酸化物層14とを同一の材料で形成することは、トンネル絶縁層9と酸化物層14とを共通の装置及び材料で形成でき、M R A Mの製造に要するコストを低減できる点で好適である。

#### 【0059】

自由強磁性層10がN iを含む強磁性体層（典型的には、N i F e層）で形成されているとき、又は、N iを含む強磁性体層と他の強磁性体層との積層構造を有する場合（典型的には、C o F e層とN i F e層との積層構造を有する場合）には、酸化物層14は、N iを含む該強磁性体層の上に直接に接して形成されることが好適である。N iを含む強磁性体層は、N iの組成が最適組成からずれると、その特性が劣化しやすい。例えば、飽和磁化の大きさは、N iの組成によつて大きな影響を受ける。酸化物層14がN iを含む該強磁性体層の上に直接に接していることは、該強磁性体層の上方へのN iの拡散経路を無くし、N iを含む強磁性体層の組成ずれを効果的に防止する。N iを含む強磁性層は、下部面に接する層（即ち、トンネル絶縁層9又は、上述の他の強磁性体層）に比べて上部面に接する層（即ち、上部コンタクト層15及び上部配線3）との拡散が大きいことが発明者等の実験により分かっており、N iを含む強磁性層の上部面に酸化物層14を直接に形成することは、特に、拡散防止に対して効果的である。

#### 【0060】

以上に説明されているように、本実施の形態では、下部配線2と磁気抵抗素子4との間に酸化物層13が設けられ、下部配線2と磁気抵抗素子4との間の相互拡散が効果的に防止されている。更に、上部配線3と磁気抵抗素子4との間に酸化物層14が設けられ、上部配線3と磁気抵抗素子4との間の相互拡散が効果的に防止されている。

#### 【0061】

本実施の形態において、下部配線2と上部配線3としてCuが使用される場合にも、酸化物層13, 14の使用が相互拡散の防止に有効である。

#### 【0062】

相互拡散の防止の観点からは、図2に示されているように、酸化物層13の代わりに、充分に厚い下部コンタクト層12'が、磁気抵抗素子4とビア11との間に介設されることが可能である。この場合、シード層5は必要とされない。同様に、図3に示されているように、酸化物層14の代わりに、充分に厚い上部コンタクト層15'が、自由強磁性層10と上部配線3との間に介設されることが可能である。下部コンタクト層12'及び上部コンタクト層15'は、典型的には、TiN, Ta, Ru, W, Zr, 及びMoで形成される。下部コンタクト層12'及び上部コンタクト層15'の厚さが充分に厚いことにより、下部配線2及び上部配線3を構成するAl, Cuが磁気抵抗素子4に拡散し、磁気抵抗素子4の反強磁性層7に含まれるMn, バッファ層6及び自由強磁性層10に含まれるNiが下部配線2及び上部配線3に拡散することを防止可能である。

#### 【0063】

しかし、図1に示されているように、酸化物層13と酸化物層14との両方が使用されることが好適である。相互拡散防止効果が大きい酸化物で形成された酸化物層13及び酸化物層14は、極めて薄い膜厚にすることが可能である。酸化物層13及び酸化物層14が薄いことは、下部配線2と上部配線3とを自由強磁性層10に接近して配置することを可能にする。下部配線2と上部配線3とが自由強磁性層10に接近して配置されていることは、自由強磁性層10の自発磁化を反転するために必要な電流の大きさ（即ち、書き込み動作に必要な電流の大きさ）を抑制するため好適である。

#### 【0064】

更に、図2の厚い下部コンタクト層12'を有する構造は、下部配線2、及びビア11と磁気抵抗素子4との間の相互拡散を防止する一方で、下部コンタクト層12'と磁気抵抗素子4との間の相互拡散は防止できない。同様に、図3の厚い上部コンタクト層15'を有する構造は、上部配線2及び磁気抵抗素子4との間の相互拡散を防止する一方で、上部コンタクト層15'と磁気抵抗素子4との

間の相互拡散は防止できない。このため、酸化物層13の使用は、厚い下部コントラクト層12'の使用よりも好適であり、酸化物層14の使用は、厚い上部コントラクト層15'の使用よりも好適である。

#### 【0065】

下部配線2を、より自由強磁性層10に接近して配置するためには、図4に示されているように、酸化物層13とシード層5とバッファ層6と反強磁性層7とが、下部配線2の上面を実質的に完全に被覆するように形成されていることが好適である。このような構造は、シード層5とバッファ層6と反強磁性層7とを、自由強磁性層10の自発磁化を反転させる書き込み電流を流す配線の一部にすることを可能にし、該書き込み電流が流される配線を、自由強磁性層10に一層に接近させることができある。

#### 【0066】

従来の技術に記述されているように、反強磁性層7に含まれるMnがトンネル絶縁層9に拡散することは、磁気トンネル接合のMR比を劣化する点で好ましくない。反強磁性層7に含まれるMnのトンネル絶縁層9への拡散を防止するためには、固定強磁性層8は、複合磁性層8aと金属強磁性層8bとで形成されていることが好適である。複合磁性層8aは、反強磁性層7の上に形成され、後述されるように、反強磁性層7のMnがトンネル絶縁層9に拡散することを防止する。金属強磁性層8bは、スピニ分極率が高く、熱的に安定で拡散しづらいCoを主成分とする金属強磁性合金を用いることが望ましい。Coを主成分とする金属強磁性合金で形成されることにより、金属強磁性層8bは、磁気的にハードになる。「Coを主成分とする」とは、金属強磁性合金を構成する構成の中で、最も原子パーセントが高いものがCoであることを意味している。

#### 【0067】

複合磁性層8aは、酸化されていない金属強磁性体を主成分とし、該金属強磁性体よりも酸素と結合しやすく、且つ、非磁性の元素の酸化物を副成分として混合された複合体薄膜で形成されている。このような複合磁性層8aは、金属的な導電性と強磁性とを保持しつつ、Mnの拡散を防止することができる構造を有している。複合磁性層8aを構成する金属強磁性体としては、典型的にはCoFe

が例示され、酸化物としては、 $TaO_x$ ,  $HfO_x$ ,  $NbO_x$ ,  $ZrO_x$ ,  $CeO_x$ ,  $AlO_x$ ,  $MgO_x$ ,  $SiO_x$ 及び $TiO_x$ が例示される。これらの非磁性元素は、強磁性元素 $Fe$ ,  $Co$ ,  $Ni$ に比べて酸化物生成自由エネルギーが低く、酸化されやすい。複合磁性層8aに使用される強磁性材料としては、 $Co$ , 及び $Co$ を主成分とする金属強磁性合金が使用されることが望ましい。 $Co$ , 及び $Co$ を主成分とする金属強磁性合金は、スピニ分極率が高く、酸化されにくく、且つ、熱的に安定で拡散しづらい。

#### 【0068】

複合磁性層8aが酸化されていない金属強磁性体を主成分とすることは、複合磁性層8aが導電性と強磁性とを発現する上で重要である。複合磁性層8aが金属的な導電性を有することは、読み出し動作のSN比を向上させる。複合磁性層8aが強磁性を有することは、反強磁性層7の交換相互作用を金属強磁性層8bに到達させ、複合磁性層8aと金属強磁性層8bとの両方を固定強磁性層として機能させる役割を果たす。複合磁性層8aを構成する金属強磁性体の酸化を防止するために、複合磁性層8aを構成する酸化物としては、該金属強磁性体よりも酸化されやすい非磁性元素の酸化物が使用される。

#### 【0069】

複合磁性層8aは、金属強磁性体を構成する元素の原子半径と、酸化物を構成する非磁性元素の原子半径とに応じて、図6(a), (b)のいずれかの構造をとる。金属強磁性体を構成する元素の原子半径よりも酸化物を構成する非磁性元素の原子半径の方が大きい場合、図6(a)に示されているように、複合磁性層8aは、金属強磁性体の柱状単結晶31と、金属強磁性体と非磁性元素の酸化物との混合物のアモルファス相32とで構成される。複合磁性層8aがこのような構造をとるのは、原子半径が大きい非磁性元素により、金属強磁性体の結晶化が阻害されることによると考えられる。複合磁性層8aを構成する金属強磁性体として $CoFe$ が使用されるときには、複合磁性層8aに含まれる酸化物として $TaO_x$ ,  $HfO_x$ ,  $NbO_x$ ,  $ZrO_x$ , 及び $CeO_x$ が使用される場合に図6(a)に示されているような構造をとる。

#### 【0070】

金属強磁性体を構成する元素の原子半径よりも酸化物を構成する非磁性元素の原子半径の方が小さい場合、図6（b）に示されているように、複合磁性層8aは、金属強磁性体の粒状単結晶33と、粒状単結晶33の粒界に酸化物が析出して形成された非晶質酸化物34とで構成される。このような構造を有する材料は、グラニュラー合金と呼ばれることがある。但し、粒状単結晶33は、完全に孤立しておらず、粒状単結晶33の一部は、直接隣接する粒状単結晶33に接触しているか、非磁性酸化物34に存在するピンホールなどを介して隣接する粒状単結晶33に接触している。このような構造では、粒状単結晶33同士は磁気的に結合しているため、複合磁性層8aはソフト強磁性を示し、且つ、金属的な導電性を示す。複合磁性層8aを構成する金属強磁性体としてCoFeが使用されるときには、複合磁性層8aは、酸化物としてAl<sub>x</sub>O<sub>x</sub>、MgO<sub>x</sub>、SiO<sub>x</sub>、及びTiO<sub>x</sub>が使用される場合に図6（b）に示されているような構造をとる。

### 【0071】

図6（a）、（b）のいずれの構造をとる場合にも、複合磁性層8aは、その内部に含まれる非磁性酸化物の緻密性によって拡散を防止する構造を有している。更に、酸化物を含んで構成される複合磁性層8aは、酸素に対して結合しやすいMnをトラップする作用を有している。即ち、酸化物を含んで構成されている複合磁性層8aにMnが拡散すると、拡散したMnは、酸素と結合して安定化されて複合磁性層8aに固定される。更に、複合磁性層8aは、通常の金属強磁性層が有するような結晶粒界をほとんど持たず、高速拡散経路が低減されているため、拡散防止性が高い。これらの作用により、複合磁性層8aは、固定強磁性層内の磁気的及び電気的な結合を分断することなく、Mnのトンネル絶縁層9への拡散を有效地に防止できる性質を有する。このような特性は、従来の酸化物拡散防止層によっては得られない。

### 【0072】

複合磁性層8aは、酸素ガスを含むスパッタガスを用いた反応性スパッタによって形成可能である。スパッタガスとしては、典型的には、酸素ガスとアルゴンガスとの混合ガスが使用される。スパッタターゲットとしては、典型的には、金属強磁性体と、該金属強磁性体よりも酸化しやすい非磁性元素との合金で形成さ

れたターゲットが使用される。この合金ターゲットを、酸素ガスを含むスパッタガスを用いてスパッタすると、酸素は、金属強磁性体に優先して非磁性金属に結合する。スパッタガスに含まれる酸素の量を適切に調整することにより、非磁性金属のみ酸化し、金属強磁性体を酸化せずに複合磁性層 8 a を形成可能である。

### 【0073】

図7は、強磁性体であるCoFeと非磁性元素であるTaとで形成された(Co<sub>0.90</sub>Fe<sub>1.0</sub>)<sub>85</sub>Ta<sub>15</sub>合金ターゲットを、酸素ガスを含むスパッタガスによってスパッタすることにより形成された薄膜の抵抗率を示すグラフであり、図8は、該薄膜の飽和磁化を示すグラフである。これらのグラフの横軸には、比[O<sub>2</sub>] / [Ar] がプロットされている。ここで、[O<sub>2</sub>] は、スパッタが行われるチャンバーに導入される酸素ガスの流量 (sccm) であり、[Ar] は、アルゴンガスの流量 (sccm) である。形成された薄膜は、図6(a) に示されている構造、即ち、組成式：(CoFe)<sub>z</sub>Ta<sub>1-z</sub>O<sub>x</sub>で示される組成を有する酸化物アモルファス層が大部分を占め、一部にCoFe柱状結晶粒が形成された構造を有している。図7及び図8に示されているように、[O<sub>2</sub>] / [Ar] が小さいときには、該薄膜は金属的な導電性を示し、且つ、飽和磁化が大きい。[O<sub>2</sub>] / [Ar] が0.2を超えると、該薄膜の抵抗率は急激に増大し、飽和磁化は急激に減少する。

### 【0074】

これらのグラフは、該薄膜に含まれるCoFeを金属的な状態で存在させるためには、[O<sub>2</sub>] / [Ar] が0.2よりも小さい必要があることを示している。この推論は、XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) を用いた分析によって裏付けられている。図9は、[O<sub>2</sub>] / [Ar] を0.13及び0.54として作成された該薄膜について、XPSによる分析を行うことによって得られるCo<sub>2p</sub>スペクトルを示している。図9のCo<sub>2p</sub>スペクトルは、[O<sub>2</sub>] / [Ar] が0.13である場合には、該薄膜に含まれるCoはその7割以上が金属状態であり、[O<sub>2</sub>] / [Ar] が0.54である場合には、該薄膜に含まれるCoは、酸化されていることを示している。

### 【0075】

金属強磁性体としてCoFeが使用され、且つ、非磁性金属の酸化物としてTaO<sub>x</sub>、HfO<sub>x</sub>、NbO<sub>x</sub>、ZrO<sub>x</sub>、AlO<sub>x</sub>、MgO<sub>x</sub>、及びSiO<sub>x</sub>のいずれかが使用される場合、[O<sub>2</sub>] / [Ar] が0.2よりも小さければ、CoFeを金属的な状態にして複合磁性膜8aを形成可能である。

### 【0076】

上述の、酸化されていない金属強磁性体を主成分とし、該金属強磁性体よりも酸素と結合しやすく、且つ、非磁性の元素の酸化物を副成分として形成された複合体薄膜は、金属強磁性層の結晶構造がなくなり、強磁性結晶粒が小さくなり、強磁性結晶粒が小さくなり、或いは結晶磁気異方性が減少するため、比較的に磁気的にソフトである。この性質は、自由強磁性層10からNiを排除することに利用可能である。Niがトンネル絶縁層9の内部に拡散すると、磁気抵抗素子4のMR比が低下する。更に、Niが上部配線3に拡散すると、上部配線3の抵抗が増大する。Niの拡散の観点から、Niは、自由強磁性層10から排除されることが望ましい。

### 【0077】

図10は、かかる複合体薄膜を使用して自由強磁性層10からNiを排除する構造を示している。自由強磁性層10は、スピン分極率が高く、且つ、熱的に安定で拡散しにくい材料で形成された金属強磁性層10aと、上述の複合体薄膜で形成された複合磁性層10bとで形成されている。金属強磁性層10aは、トンネル絶縁層9の上に形成され、複合磁性層10bは、金属強磁性層10aの上に形成されている。金属強磁性層10aは、Coを主成分とする強磁性合金が望ましく、典型的には、CoFeで形成される。複合磁性層10bは、Niを含まない強磁性体（典型的にはCoFe）と、非磁性の金属の酸化物とが混合された複合体薄膜で形成される。このような構造を有する自由強磁性層10は、高いスピン分極率と熱安定性とを有する材料で形成された金属強磁性層10aをトンネル絶縁層9に直接に接することにより、高いMR比を実現する。更に、磁気的にソフトな複合磁性層10bは、金属強磁性層10aに交換相互作用を及ぼして金属強磁性層10aをソフト化し、自由強磁性層10の全体をソフト化する。

### 【0078】

図10に示された構造を有する自由強磁性層10よりも、よりソフトな自由強磁性層を得るためにには、図11に示されているように、Niを含む強磁性体、典型的には、NiFeで形成されたソフト強磁性層10cを複合磁性層10bの上に形成することが可能である。上述の複合体薄膜で形成された複合磁性層10bは、Niに対しても拡散を防止する効果を示す。したがって、ソフト強磁性層10cに含まれるNiのトンネル絶縁層9への拡散は、複合磁性層10bによって防止される。更に、ソフト強磁性層10cから上部配線3へのNiの拡散は、上述の酸化物層14によって防止される。図11に示されている構造は、MR比を高くしながら、Niのトンネル絶縁層9及び上部電極層3への拡散を防止できる点で好適である。

### 【0079】

図10又は図11に示された磁気抵抗素子4は、自由強磁性層10に複合磁性層10bが付加されるために、自由強磁性層10全体の飽和磁化が大きくなり、反磁場が増大する問題を有している。反磁場を減少させる方法として、図12に示されているように、自由強磁性層10を、金属強磁性層10d、複合磁性層10e、非磁性層10f、複合磁性層10g、及びソフト強磁性層10hで形成することが好適である。金属強磁性層10dは、CoFeのように、高いスピニ分極率を有する強磁性体で形成される。複合磁性層10e、10gは、上述の複合体薄膜で形成され、ソフトな強磁性を示す。ソフト強磁性層10hは、Niを含む強磁性体、典型的には、NiFeで形成される。非磁性層10fは、複合磁性層10eと複合磁性層10gを、反強磁性的に強く結合させる性質を有する材料、典型的にはCu、Cr、Rh、Ru、RuO<sub>x</sub>で形成される。

### 【0080】

非磁性層10fの作用により、金属強磁性層10d及び複合磁性層10eが有する自発磁化と、複合磁性層10g及びソフト強磁性層10hが有する自発磁化とは、反強磁性的に結合され、反平行になる。米国特許公報第5,408,377号に開示されているように、自由強磁性層4を、2つの強磁性層と、該強磁性層の間に挟まれ、該強磁性層を反強磁性的に結合する非磁性層とで構成することにより、自由強磁性層の実効的な飽和磁場、ひいては、反磁場を減少させること

ができる。反磁場が低減されることで、自由強磁性層4の反転磁場（保磁力）が低減される。したがって、図12に示された構造は、MR比を高くし、Niのトンネル絶縁層9及び上部電極層3への拡散を防止し、更に、自由強磁性層10をソフトにすることが可能である。

#### 【0081】

図12の構造において、充分にソフトな自由強磁性層10が得られる場合には、ソフト強磁性層10hは設けられないことも可能である。ソフト強磁性層10hを排除することにより、Niを自由強磁性層10から排除し、Niの拡散による悪影響を根本的に回避することができる。

#### 【0082】

更に、図12の構造において、自由強磁性層10の内部における反強磁性的な結合を強固にするためには、図13に示されているように、非磁性層10fの両側の界面に、金属強磁性層10iを設けることが好適である。金属強磁性層10iとして、Coを主成分とし、且つ、Niを含まない強磁性合金を用いることにより、強固な反強磁性的結合が得られる。金属強磁性層10iを設けることが好適である。金属強磁性層10iは、Co、又はCo<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>で形成されることが好適である。

#### 【0083】

磁気抵抗素子の特性を良好にするためには、図14に示されているように、自由強磁性層10に適切なバイアス磁場を印加する磁気バイアス層20が設けられることがある。適切なバイアス磁場の印加は、自由強磁性層10のヒステリシス曲線の磁場印加方向に対する非対称性を解消する。

#### 【0084】

磁気バイアス層20は、保護層16と、強磁性体で形成される強磁性層17と、反強磁性体で形成される反強磁性層18と、保護層19とで構成される。保護層16、19は、典型的には、Ta、Zrで形成される。強磁性層17は、典型的には、CoFeで形成される。反強磁性層18は、Mnを含む反強磁性体、典型的には、PtMn、IrMnで形成される。強磁性層17と反強磁性層18との位置は交換可能である。

### 【0085】

反強磁性層18は、反強磁性体7と同様に、Mnの拡散の問題を引き起こす。Mnの拡散の問題を防止するために、磁気抵抗素子に磁気バイアス層20が設けられる場合には、磁気バイアス層20は、酸化物層14の上に形成され、磁気バイアス層20と上部コンタクト層15との間には、酸化物層21が設けられる。酸化物層14は、Mnのトンネル絶縁層9への拡散を防止し、酸化物層21は、Mnの上部配線3への拡散を防止する。

### 【0086】

酸化物層21に求められる物性は、酸化物層13と同様であり、酸化物層13に好適な材料及び構造は、酸化物層21にも好適である。第1に、酸化物層21の構造を緻密化し、高温まで熱的安定性を保ち、且つ、相互拡散の抑制効果を増大するためには、酸化物層21は、Al, Mg, Si, Hf, Li, Ca, 及びTiの酸化物で形成することが好適である。更に、トンネル絶縁層9の抵抗の検出のSN比を向上するためには、酸化物層21の厚さ方向の抵抗は、トンネル絶縁層9の厚さ方向の抵抗より小さいことが好適である。更に、酸化物層21の厚さが1nm以下であることは、酸化物層14の抵抗を極度に小さくし、トンネル絶縁層9の抵抗の検出のSN比を向上する点から好適である。更に、トンネル絶縁層9と酸化物層21とを同一の材料で形成することは、トンネル絶縁層9と酸化物層21とを共通の装置及び材料で形成でき、MRAMの製造に要するコストを低減できる点で好適である。

### 【0087】

酸化物層21は、その下面（基板1の側の面）及び上面に接する層（即ち、下部コンタクト層12及びシード層5）を構成する材料よりも、酸素と結合する力が大きい材料の酸化物を用いることが好適である。そうでない材料の酸化物を酸化物層21に使用することは、酸化物層21の下面及び上面に接する層に酸素が拡散し、酸化物層21の拡散防止効果を失わせるため好適でない。上部コンタクト層15にTa, 保護層19にTa, 又はCrを使用する場合には、それより酸化物生成自由エネルギーが低いAl, Mg, Si, Hf, Li, Ca, 及びTiの酸化物を酸化物層21として使用することが好適である。

### 【0088】

図2の下部コンタクト層12'の構造、図3の上部コンタクト層15'の構造、図5の固定強磁性層8の構造、図10から図13の自由強磁性層10の構造、及び図14の磁気バイアス層20の構造は、組み合わされて使用され得る。たとえば、図15に示されている構造が採用され得る。図15のMRAMでは、固定強磁性層8が複合磁性層8aと強磁性層8bとで形成される。更に、自由強磁性層10が、金属強磁性層10aと複合強磁性層10bとソフト強磁性層10cとで形成される。更に、酸化物層14の上に磁気バイアス層20が設けられ、磁気バイアス層20と上部コンタクト層15との間には、酸化物層21が設けられている。

### 【0089】

図16は、磁気抵抗素子の、より現実的な構造を示している。上部コンタクト層15と上部配線3とは、ビア22で接続されている。ビア22は、典型的には、Al, Cu, W, 及びTiNで形成される。更に、図16の磁気抵抗素子では、トンネル絶縁層9が、基板1の主面に垂直な方向においてビア11とオーバーラップしないような位置に設けられる。このようなトンネル絶縁層9の配置は、トンネル絶縁膜9の欠陥を減少できる点で好ましい。金属で形成されるビア11は、その表面に凹凸が発生することは回避したい。図1に示されているように、凹凸を有するビア11の上方にトンネル絶縁層9が位置すると、トンネル絶縁膜9にも凹凸が発生し、トンネル絶縁膜9に欠陥が発生しやすい。図16に示されているように、トンネル絶縁層9が、ビア11とオーバーラップしない配置は、トンネル絶縁膜9の欠陥を減少できる。

### 【0090】

トンネル絶縁層9が、基板1の主面に垂直な方向においてビア11とオーバーラップしない配置が採用される場合にも、図2の下部コンタクト層12'の構造、図3の上部コンタクト層15'の構造、図5の固定強磁性層8の構造、図10から図13の自由強磁性層10の構造、及び図14の磁気バイアス層20の構造は、組み合わされて使用され得る。たとえば、図17に示されている構造が採用され得る。図17のMRAMでは、磁気抵抗素子4と下部配線2とは、厚い下部

コンタクト層12'によって電気的に接続されている。更に、固定強磁性層8が複合磁性層8aと強磁性層8bとで形成される。酸化物層14の上に磁気バイアス層20が設けられ、磁気バイアス層20と上部コンタクト層15との間には、酸化物層21が設けられている。

### 【0091】

トンネル絶縁層9が、基板1の主面に垂直な方向においてビア11とオーバーラップしない配置は、図18に示されているように、ビア11に電気的に接続される下部配線2をMRAMの読み出し専用に使用し、下部配線2に電気的に絶縁され、下部配線2と平行に設けられた書き込み配線2'を設ける場合に好適である。このような配置が採用される場合、自由強磁性層10に記憶されたデータの判別（すなわち、トンネル絶縁層9の抵抗の検知）は、上部配線3と下部配線2との間に電圧を印加した時に流れる電流を検知することによって行われる。一方、自由強磁性層10へのデータの書き込みは、上部配線3と書き込み配線2'に書き込み電流を流すことによって行われる。

### 【0092】

更に、上部配線3としてCu層が使用される場合には、図18に示されているように、自由強磁性層10と上部配線層3との間に介設される酸化物層14は、上部配線3と磁気抵抗素子4を被覆する層間絶縁膜（符号は付されていない）とを分離するように形成されることが好適である。この場合、上部コンタクト層15は使用されず、自由強磁性層10と酸化物層14との間に保護層23が設けられる。保護層23は、典型的には、Ta及びZrで形成される。このような構造は、磁気抵抗素子4と上部配線3との間の相互拡散の防止と、上部配線3を構成するCuの層間絶縁膜への拡散の防止とが、酸化物層14によって実現される点で好適である。

### 【0093】

#### (実施例)

酸化物層13と酸化物層14とを設けることによる磁気抵抗素子の特性の向上が、下記構造を有する2つの試料により確認された。

比較例1の試料：

基板/Ta (3 nm) /AlCu (50 nm) /Ta (3 nm) /Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> (3 nm) /IrMn (10 nm) /Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> (6 nm) /AlO<sub>x</sub> (2 nm) /Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> (2.5 nm) /Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> (7.5 nm) /Ta (5 nm) /AlCu (300 nm)

実施例1の試料（本発明）：

基板/Ta (3 nm) /AlCu (50 nm) /Ta (3 nm) /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1 nm) /Ta (3 nm) /Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> (3 nm) /IrMn (10 nm) /Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> (6 nm) /AlO<sub>x</sub> (2 nm) /Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> (2.5 nm) /Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> (7.5 nm) /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1 nm) /Ta (5 nm) /AlCu (300 nm)

#### 【0094】

比較例1の試料は、図1の構造から酸化物層13及び酸化物層14が排除された構造に相当する。実施例1の試料は、図1の構造に相当する構造を有し、厚さ1nmのAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で形成された酸化物層13及び酸化物層14を含んでいる。厚さ50nmのAlCu層は、下部配線2に相当し、厚さ300nmのAlCu層は、上部配線3に相当する。

#### 【0095】

図19は、比較例1及び実施例1の試料のMR比の、熱処理温度に対する依存性を示している。比較例1の試料は、約300°Cを超える温度の熱処理により、MR比が劣化するのに対し、実施例1の試料は、より高温の300°Cまでの熱処理に耐え、それ以上の高温でも温度に対する減少度合いは低い。これは、厚さ1nmのAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で形成された酸化物層13及び酸化物層14により、Al及びCuが、AlCu層から磁気トンネル接合に拡散することが防止されたためと考えられる。

#### 【0096】

更に、酸化物層13が、バッファ層6と反強磁性層7とから下部配線2にNi，及びMnが拡散するのを防ぐ効果が、下記構造を有する3つの試料を用いて確認された。

比較例2の試料：

基板／Ta (3 nm)／AlCu (50 nm)／Ta (3 nm)／Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> (3 nm)／IrMn (10 nm)／Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> (4 nm)

実施例2の試料（本発明）：

基板／Ta (3 nm)／AlCu (50 nm)／Ta (3 nm)／Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1 nm)／Ta (3 nm)／Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> (3 nm)／IrMn (10 nm)／Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> (4 nm)

実施例3の試料（本発明）：

基板／Ta (3 nm)／AlCu (50 nm)／Ta (3 nm)／MgO (1 nm)／Ta (3 nm)／Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> (3 nm)／IrMn (10 nm)／Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> (4 nm)

#### 【0097】

比較例2の試料は、図1の構造のトンネル絶縁層9よりも基板1に近い部分のから、酸化物層13が除去された構造に相当する。実施例2の試料は、トンネル絶縁層9よりも基板1に近い部分の構造に相当し、酸化物層13として厚さ1nmのAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が使用されている。実施例3の試料は、トンネル絶縁層9よりも基板1に近い部分の構造に相当し、酸化物層13として厚さ1nmのMgOが使用されている。全ての試料について、厚さ50nmのAlCu層は、下部電極2に相当する。

#### 【0098】

図20は、比較例2及び実施例2の試料について、AlCu層のシート抵抗の熱処理温度に対する依存性を示している。酸化物層13を有しない比較例2の試料は、熱処理温度が300℃を超えるとAlCu層のシート抵抗が急激に増加する。一方、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で形成された酸化物層13を有する実施例2の試料は、350℃の熱処理を行ってもシート抵抗は増加せず、約400℃の熱処理を行ってもシート抵抗の増加は微少である。

#### 【0099】

図21は、熱処理を様々な温度で行ったときの比較例2、実施例2及び実施例3の試料のAlCu層のシート抵抗を示している。図21に示されているように、酸化物層13を有しない比較例2の試料は、350℃、400℃の熱処理によ

りシート抵抗が増加する。一方、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ で形成された酸化物層13を有する実施例2の試料、及び $\text{MgO}$ で形成された酸化物層13を有する実施例3の試料は、350°Cの熱処理によっては影響を受けない。更に、実施例2及び実施例3の試料は、400°Cの熱処理によるシート抵抗の増加は微少である。

### 【0100】

更に、酸化物層14が、上部配線3と自由強磁性層10との間の相互拡散を防止する効果が、下記構造を有する2つの試料を用いて確認された。

比較例3の試料：

基板/Ta(1.5 nm)/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(10 nm)/Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub>(2 nm)/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(2.5 nm)/Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>(7.5 nm)/Ta(5 nm)/AlCu(300 nm)

実施例4の試料（本発明）

基板/Ta(1.5 nm)/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(10 nm)/Al<sub>2</sub>O<sub>x</sub>(2 nm)/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(2.5 nm)/Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>(7.5 nm)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1 nm)/Ta(5 nm)/AlCu(300 nm)

### 【0101】

比較例3、実施例4の両者について、厚さ2.5 nmのCo<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>層と、厚さ7.5 nmのNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層とは、自由強磁性層10に相当し、厚さ300 nmのAlCu層は、上部配線3に相当する。実施例4に含まれる厚さ1 nmのAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層は、酸化物層14に相当する。比較例3及び実施例4の試料では、Mnの拡散の影響を排除するために、反強磁性層7は設けられていない。

### 【0102】

図22は、比較例3及び実施例4の試料のMR比の、熱処理温度に対する依存性を示している。比較例3の試料は、約300°Cを超える温度の熱処理によってMR比が劣化するのに対し、実施例4の試料は、より高温の370°Cまでの熱処理に耐える。また、400°Cの熱処理においてもMR比は20%程度を保っている。これは、厚さ1 nmのAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で形成された酸化物層14により、Al及びCuが、AlCu層から磁気トンネル接合に拡散することが防止されたためと考えられる。

### 【0103】

図23は、比較例3の試料のNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層の磁化曲線を示しており、図24は、実施例4の試料のNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層の磁化曲線を示している。磁化曲線は、振動式磁化測定装置によって測定されている。図23に示されているように、比較例3の試料は、380°Cの熱処理を行うと、飽和磁化が減少し、ヒステリシス曲線の急峻さを失い、保磁力が増大する。これは、AlCu層とNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層との間の相互拡散に起因する。一方、図24に示されているように、実施例4の試料の磁化曲線は、380°Cの熱処理によって影響を受けない。これは、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層が、AlCu層とNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層との間の相互拡散を防止するためである。

### 【0104】

更に、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層及びMgO層で形成されている酸化物層14が、上部配線3と自由強磁性層10との間の相互拡散を防止する効果が、下記の4つの試料によって確認された。

比較例4の試料：

基板／Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>（2.5 nm）／Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>（7.5 nm）／Ta（6 nm）／AlCu（300 nm）

比較例5の試料：

基板／Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>（2.5 nm）／Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>（7.5 nm）／Ta（50 nm）／AlCu（300 nm）

実施例5の試料（本発明）：

基板／Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>（2.5 nm）／Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>（7.5 nm）／Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（1 nm）／Ta（6 nm）／AlCu（300 nm）

実施例6の試料（本発明）

基板／Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>（2.5 nm）／Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>（7.5 nm）／MgO（1 nm）／Ta（6 nm）／AlCu（300 nm）

### 【0105】

比較例4の試料は、図1の構造のトンネル絶縁層9よりも基板1から離れた部分から、酸化物層14が除去された構造に相当する。比較例5の試料は、比較例

4の試料において上部コンタクト層15'に相当するTaを50nmと厚くしており、上部配線3であるAlCuからの拡散を防止したような構造である。実施例5の試料は、図1の構造のトンネル絶縁層9よりも基板1から離れた部分の構造に相当し、酸化物層14として厚さ1nmのAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が使用されている。実施例6の試料は、図1の構造のトンネル絶縁層9よりも基板1から離れた部分の構造に相当し、酸化物層14として厚さ1nmのMgOが使用されている。比較例4、比較例5、実施例5、及び実施例6の全てについて、Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>層とNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層とで構成される積層構造が、自由強磁性層に相当する。

#### 【0106】

図25は、比較例4、比較例5、実施例5、及び実施例6の試料の自由強磁性層の飽和磁化の熱処理温度に対する依存性を示している。比較例4の試料は、図25に示されているように、約380℃の熱処理によって飽和磁化が低下し、且つ、保磁力が増加する。400℃の熱処理後では飽和磁化は殆どなくなり、その磁化曲線は、常磁性的な形状を示した。比較例5では、比較例4のような保磁力の増大は見られなかったものの、飽和磁化の値は熱処理温度の温度と共に着実に減少している。更に、比較例4では上部配線に相当するAlCu層と、自由強磁性層10に相当するCo<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>層及びNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層との間の相互拡散が顕著であった。比較例5ではAl層とCo<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>層及びNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層との間の相互拡散は防止されるが、上部コンタクト層15'に相当する50nmのTa層と、Al層とCo<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>層及びNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層との間の相互拡散が生じている。これに対し、実施例5及び実施例6の試料は、全ての熱処理温度において飽和磁化が変化しておらず、より高温の400℃までの熱処理に耐える。

#### 【0107】

以上の実験によって示されているように、下部配線2と磁気抵抗素子4との間に設けられた酸化物層13は、下部配線2と磁気抵抗素子4との間の相互拡散を効果的に防止する。更に、上部配線3と磁気抵抗素子4との間に設けられた酸化物層14は、上部配線3と磁気抵抗素子4との間の相互拡散を効果的に防止する。

**【0108】**

以上に述べられた本実施の形態の磁気抵抗デバイスは、磁気読み出しヘッドに適用可能であることは自明的である。

**【0109】****【発明の効果】**

本発明により、磁気抵抗素子の熱的安定性を、一層向上する技術が提供される。

また、本発明により、磁気抵抗素子を他の素子に電気的に接続する導体（例えば、ビア及び配線）と、磁気抵抗素子を構成する層との間の相互拡散を防止することにより、磁気抵抗素子の熱的安定性を、一層向上する技術が提供される。

また、本発明により、磁気抵抗素子を構成する層に含まれる材料、特にNi, Mnが、磁気抵抗素子を他の素子に電気的に接続する導体に拡散することにより、該導体の抵抗率が増大する現象を防止する技術が提供される。

また、本発明により、磁気抵抗素子を他の素子に電気的に接続する導体に含まれる材料が、磁気抵抗素子に拡散することにより、磁気抵抗素子の特性が劣化する現象を防止する技術が提供される。

また、本発明により、磁気抵抗素子の固定強磁性層及び自由強磁性層内の磁気的結合及び電気的結合を保ちつつ、磁気抵抗素子に含まれるMnやNiが磁気抵抗素子のトンネル絶縁層に拡散することによって磁気抵抗素子の特性が劣化する現象を防止する技術が提供される。

**【図面の簡単な説明】****【図1】**

図1は、本発明による磁気抵抗デバイスの実施の一形態を示す断面図である。

**【図2】**

図2は、厚い下部コンタクト層12'を含む、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第1変形例を示す断面図である。

**【図3】**

図3は、厚い上部コンタクト層15'を含む、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第2変形例を示す断面図である。

**【図4】**

図4は、反強磁性層7'，バッファ層6'，及びシード層5'が配線の一部を構成する、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第3変形例を示す断面図である。

**【図5】**

図5は、複合磁性層8aを含む固定強磁性層8を備えた、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第4変形例を示す断面図である。

**【図6】**

図6(a)，(b)は、複合磁性層8aの構造を示す断面図である。

**【図7】**

図7は、強磁性体であるCoFeと非磁性金属であるTaとで形成された合金ターゲットを、酸素ガスを含むスパッタガスによってスパッタすることにより形成された薄膜の抵抗率を示すグラフである。

**【図8】**

図8は、かかる薄膜の飽和磁化を示すグラフである。

**【図9】**

図9は、かかる薄膜についてXPSを行うことによって得られるCo<sub>2</sub>pスペクトルを示す。

**【図10】**

図10は、複合磁性層10bを含む自由強磁性層10を備えた、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第5変形例を示す断面図である。

**【図11】**

図11は、複合磁性層10bとソフト強磁性層10cとを含む自由強磁性層10を備えた、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第6変形例を示す断面図である。

**【図12】**

図12は、金属強磁性層10d、複合磁性層10e、非磁性層10f、複合磁性層10g及びソフト強磁性層10hを含む自由強磁性層10を備えた、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第7変形例を示す断面図である。

**【図13】**

図13は、金属強磁性層10iを含む自由強磁性層10を備えた、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第7変形例を示す断面図である。

#### 【図14】

図14は、磁気バイアス層20を備えた、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第8変形例を示す断面図である。

#### 【図15】

図15は、複合磁性層8aと、複合強磁性層10bと、ソフト強磁性層10cと、磁気バイアス層20と、酸化物層21とを備えた、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第9変形例を示す断面図である。

#### 【図16】

図16は、基板1の主面に垂直な方向において、ピア11とトンネル強磁性層9とがオーバーラップしない構造を有する、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第10変形例を示す断面図である。

#### 【図17】

図17は、基板1の主面に垂直な方向において、ピア11とトンネル強磁性層9とがオーバーラップしない構造を有する、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第11変形例を示す断面図である。

#### 【図18】

図18は、読み出しに使用される下部配線2と別に書き込み配線2'を備えた、本実施の形態の磁気抵抗デバイスの第12変形例を示す断面図である。

#### 【図19】

図19は、比較例1及び実施例1の試料について、磁気トンネル接合のMR比の熱処理温度に対する依存性を示す図である。

#### 【図20】

図20は、比較例2及び実施例2の試料について、AlCu層のシート抵抗の熱処理温度に対する依存性を示す図である。

#### 【図21】

図21は、比較例2、実施例2、及び実施例3の試料について、AlCu層のシート抵抗の熱処理温度に対する依存性を示す表である。

**【図22】**

図22は、比較例3及び実施例4の試料について、磁気トンネル接合のMR比の熱処理温度に対する依存性を示す図である。

**【図23】**

図23は、比較例3の試料の磁化曲線を示す図である。

**【図24】**

図24は、実施例4の試料の磁化曲線を示す図である。

**【図25】**

図25は、比較例4、比較例5、実施例5、及び実施例6の試料について、自由強磁性層の飽和磁化の、熱処理温度に対する依存性を示す表である。

**【符号の説明】**

- 1：基板
- 2：下部配線
- 3：上部配線
- 4：磁気抵抗素子
- 5, 5'：シード層
- 6, 6'：バッファ層
- 7, 7'：反強磁性層
- 8：固定強磁性層
- 8 a：複合磁性層
- 8 b：金属強磁性層
- 9：トンネル絶縁層
- 10：自由強磁性層
- 10 a, 10 d, 10 i：金属強磁性層
- 10 b, 10 e, 10 g：複合磁性層
- 10 c, 10 h：ソフト強磁性層
- 10 f：非磁性層
- 11：ビア
- 12, 12'：下部コンタクト層

13, 13' : 酸化物層

14 : 酸化物層

15, 15' : 上部コンタクト層

16 : 保護層

17 : 強磁性層

18 : 反強磁性層

19 : 保護層

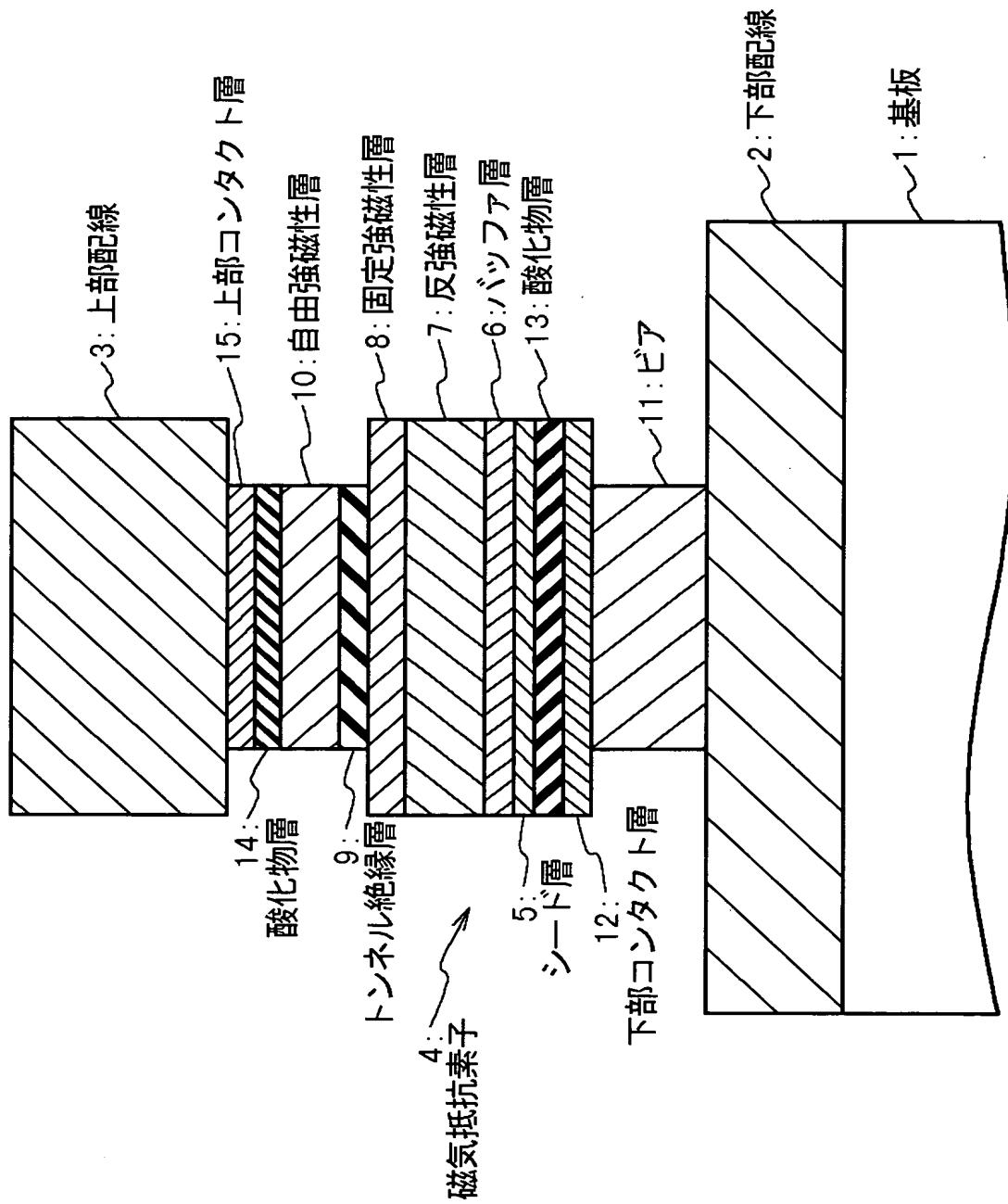
20 : 磁気バイアス層

21 : 酸化物層

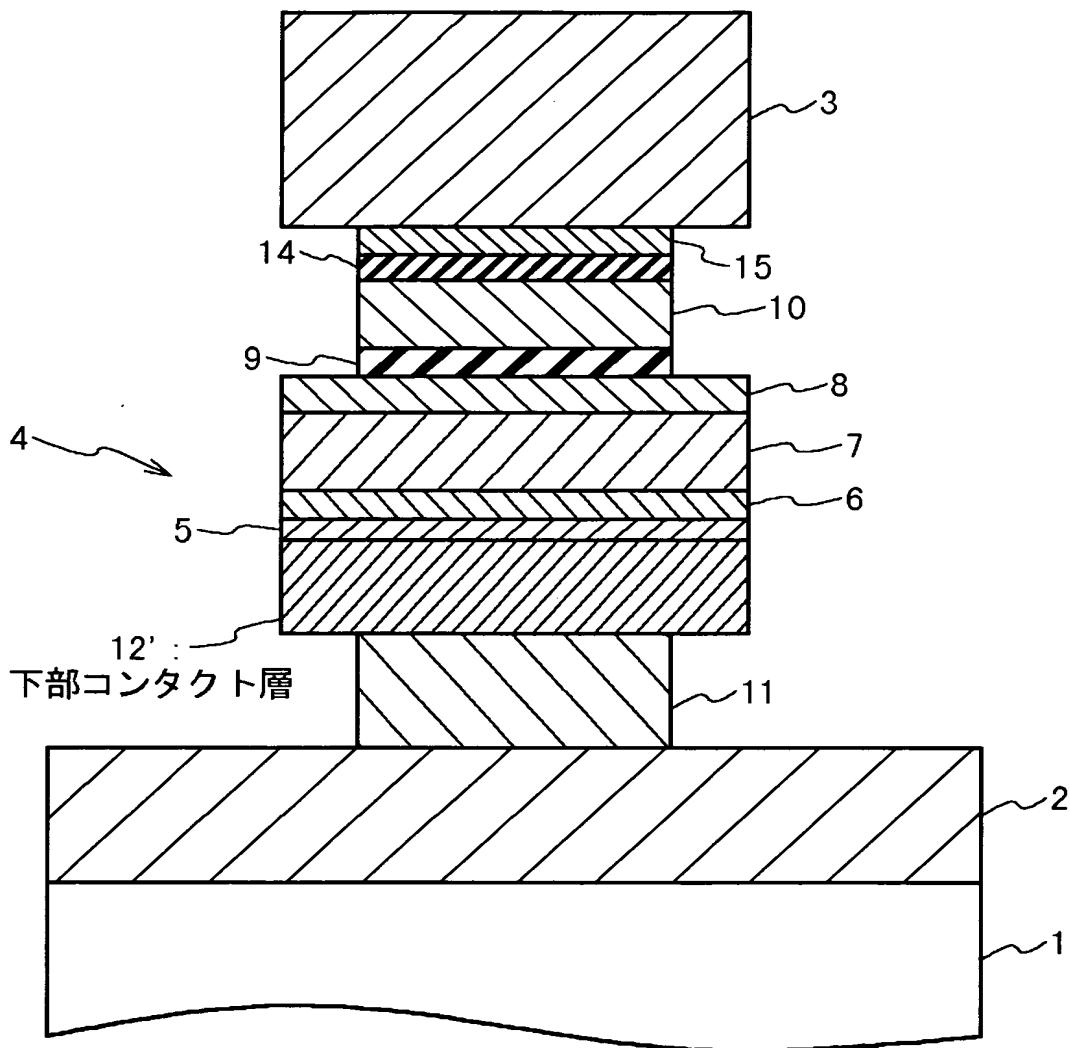
22 : ビア

【書類名】 図面

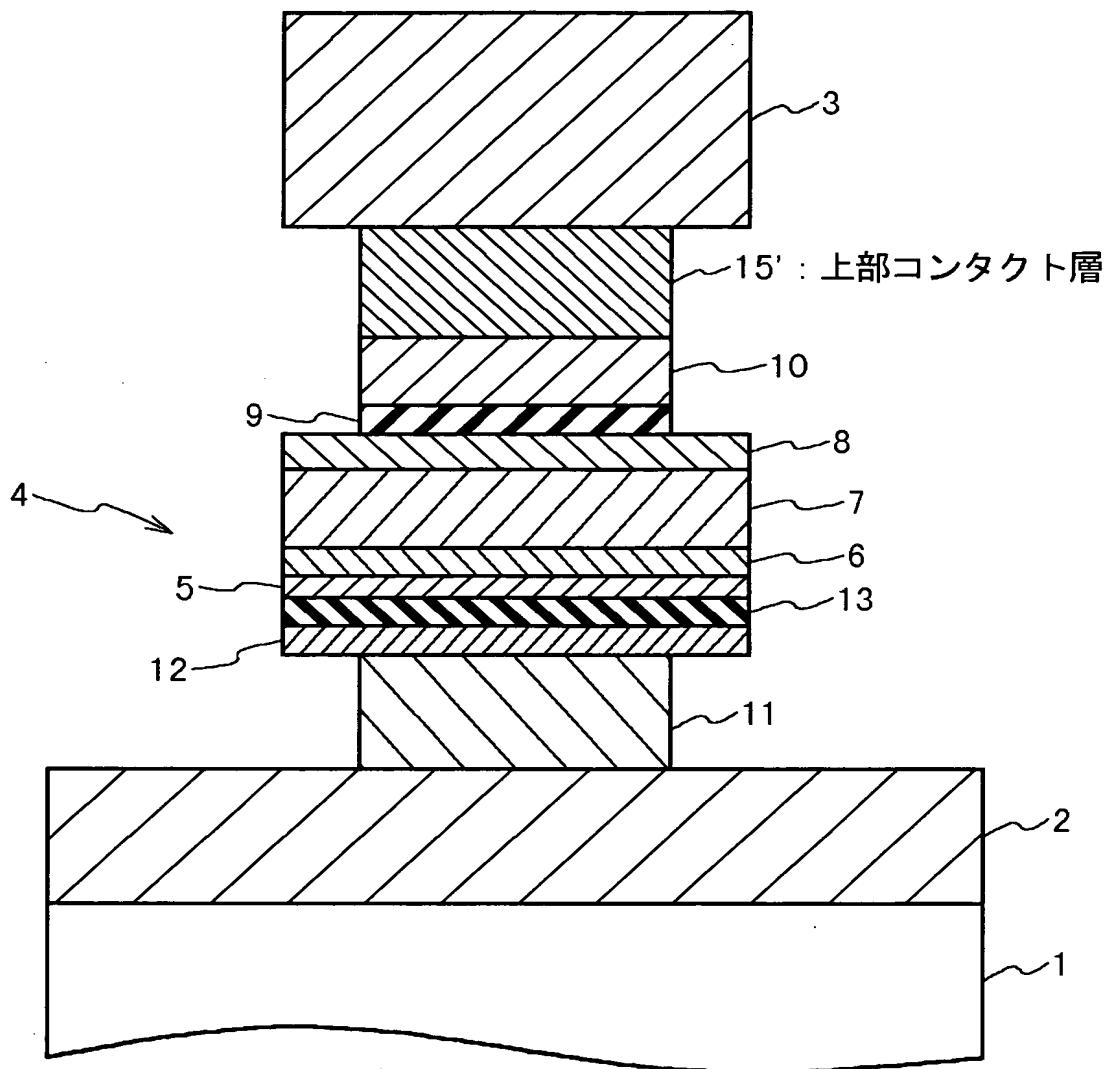
【図 1】



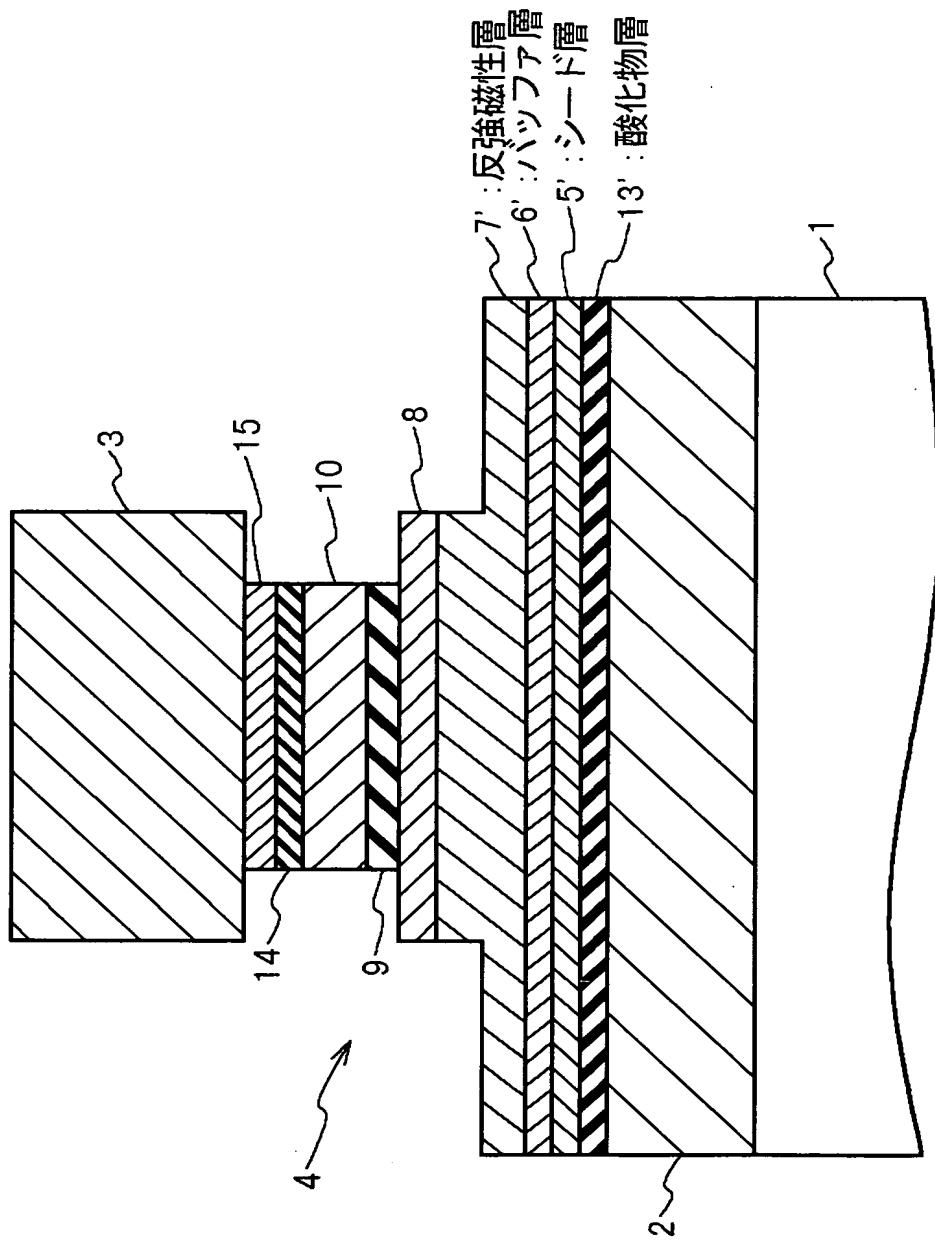
【図2】



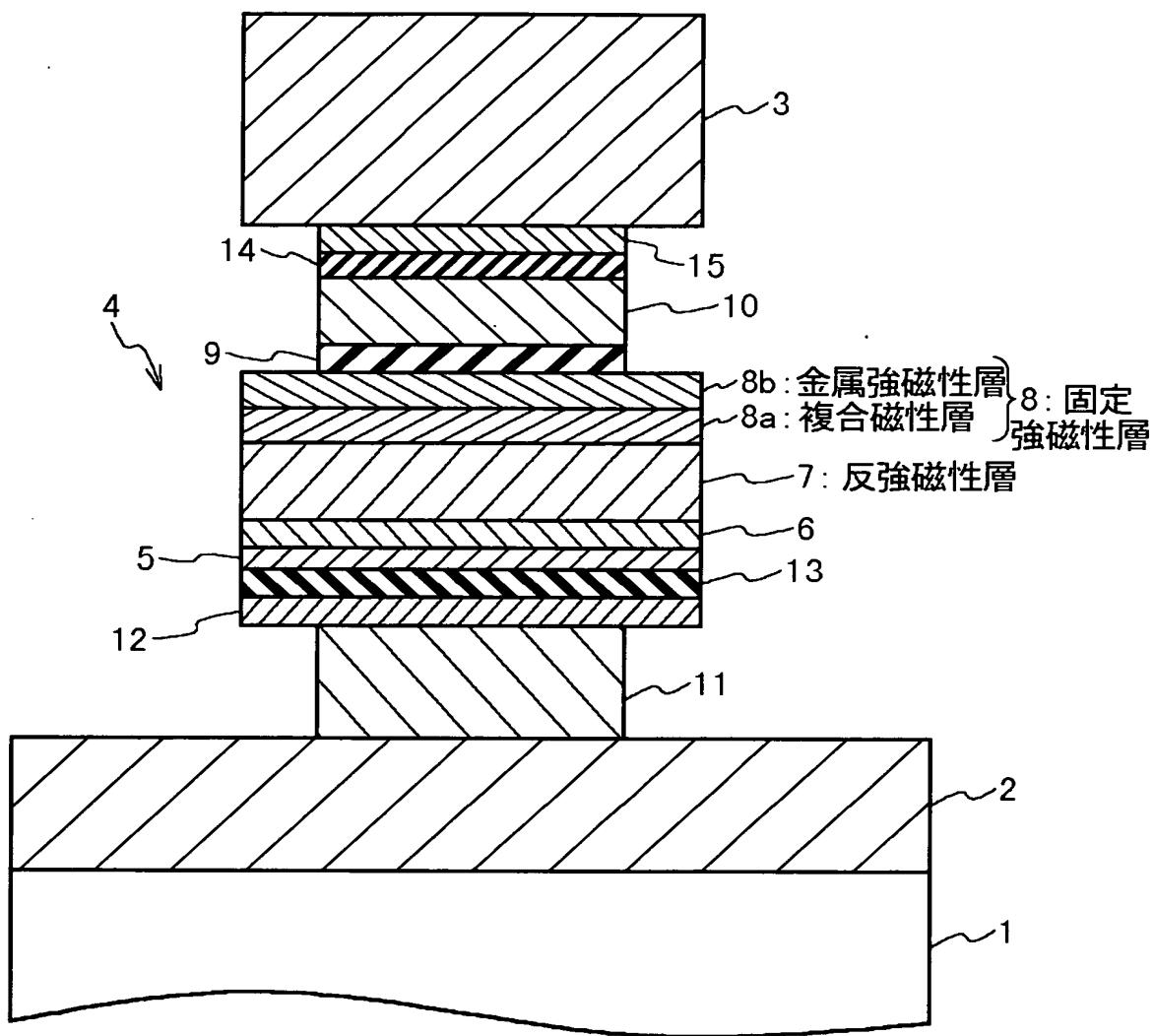
【図3】



【図4】

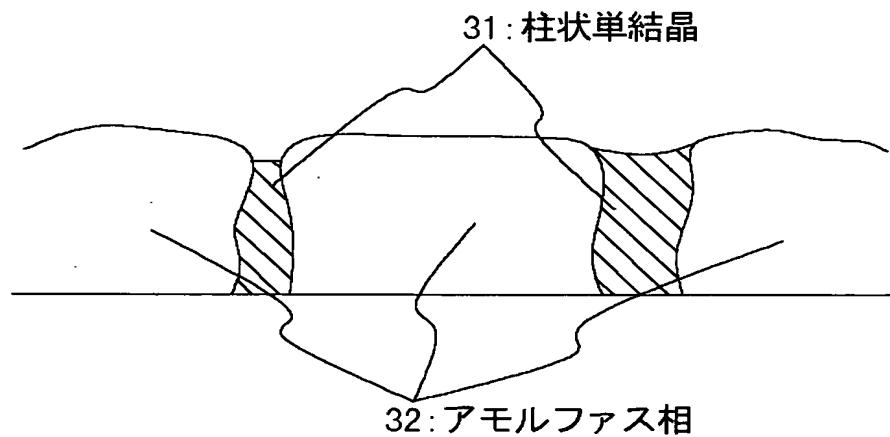


【図5】

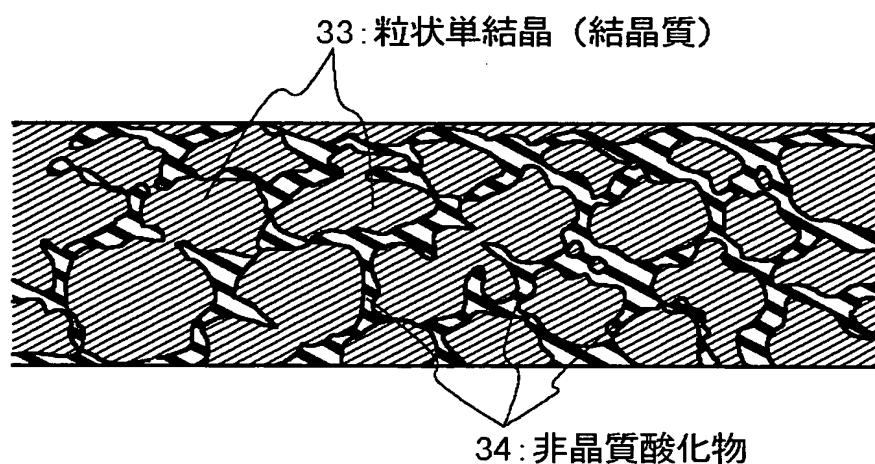


【図6】

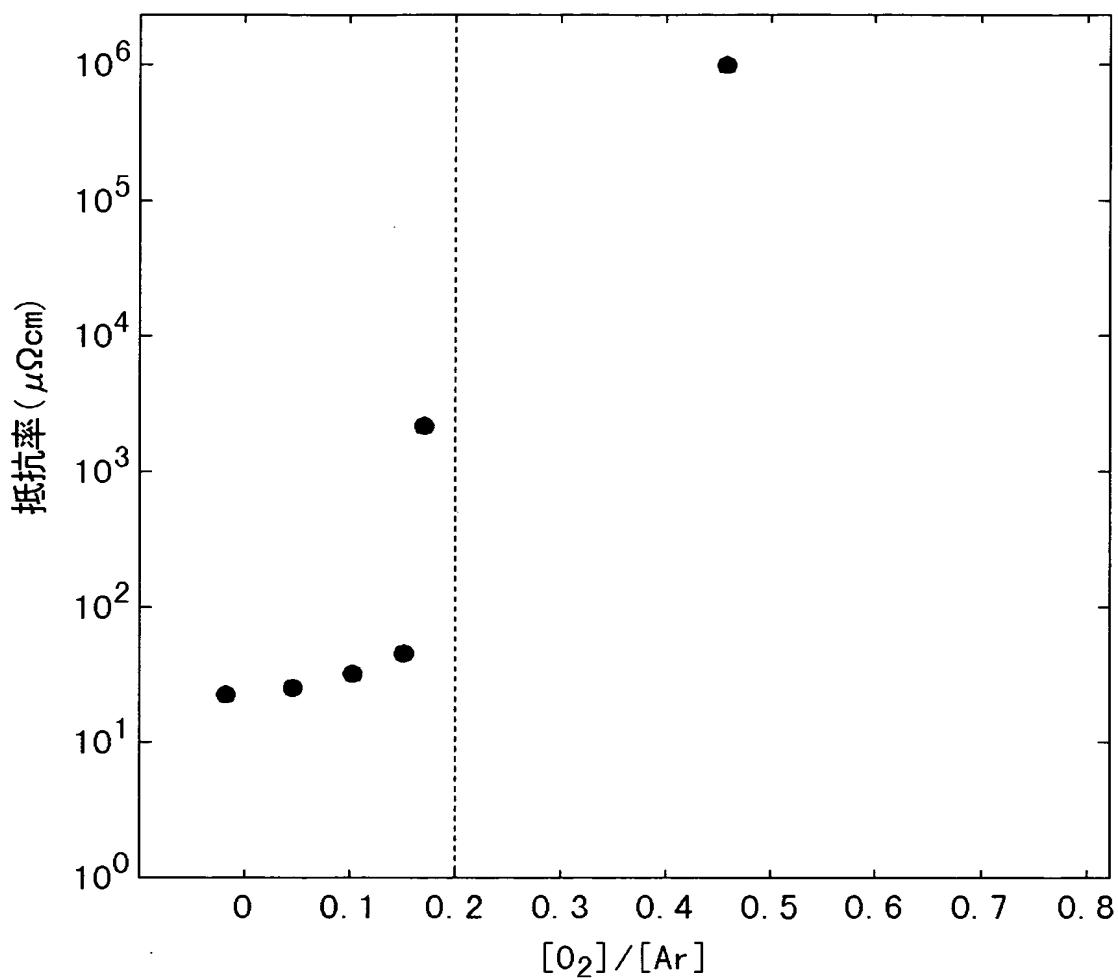
(a)



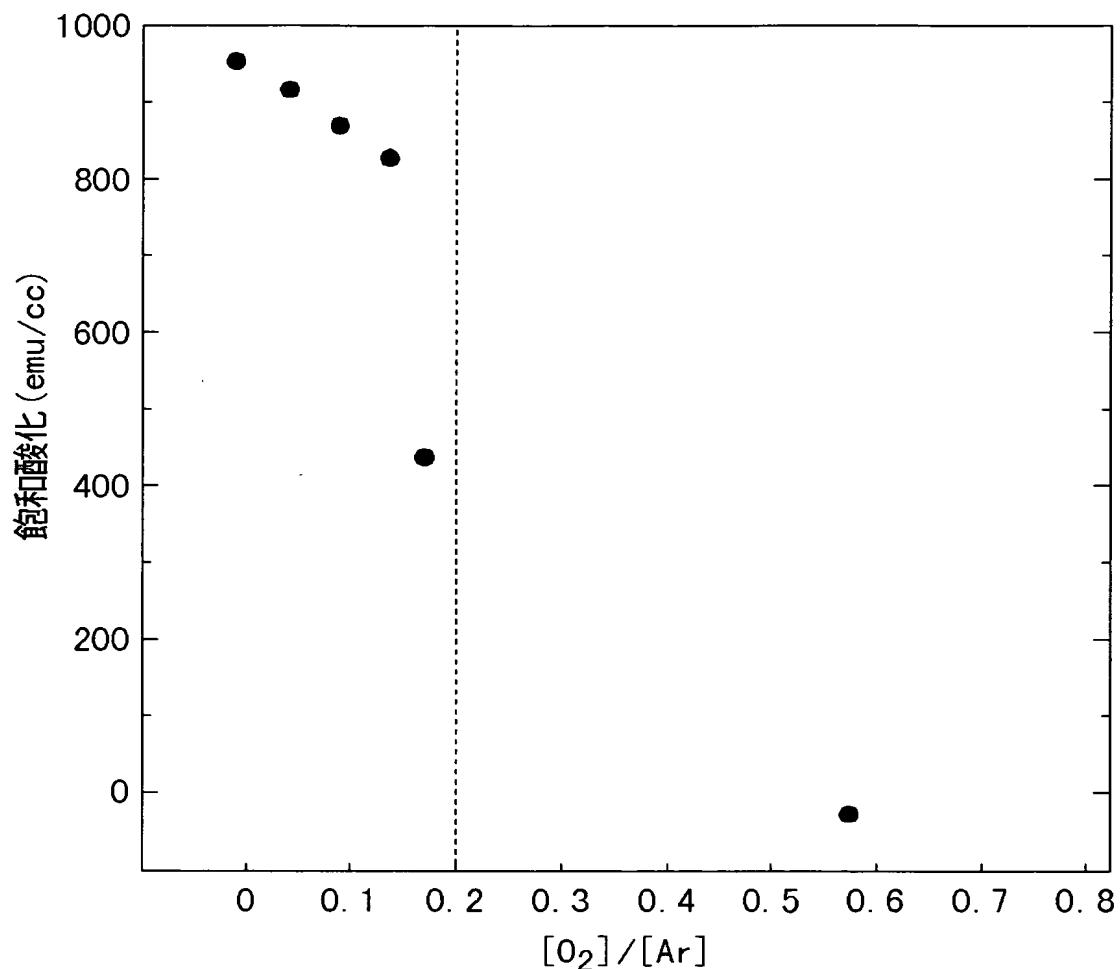
(b)



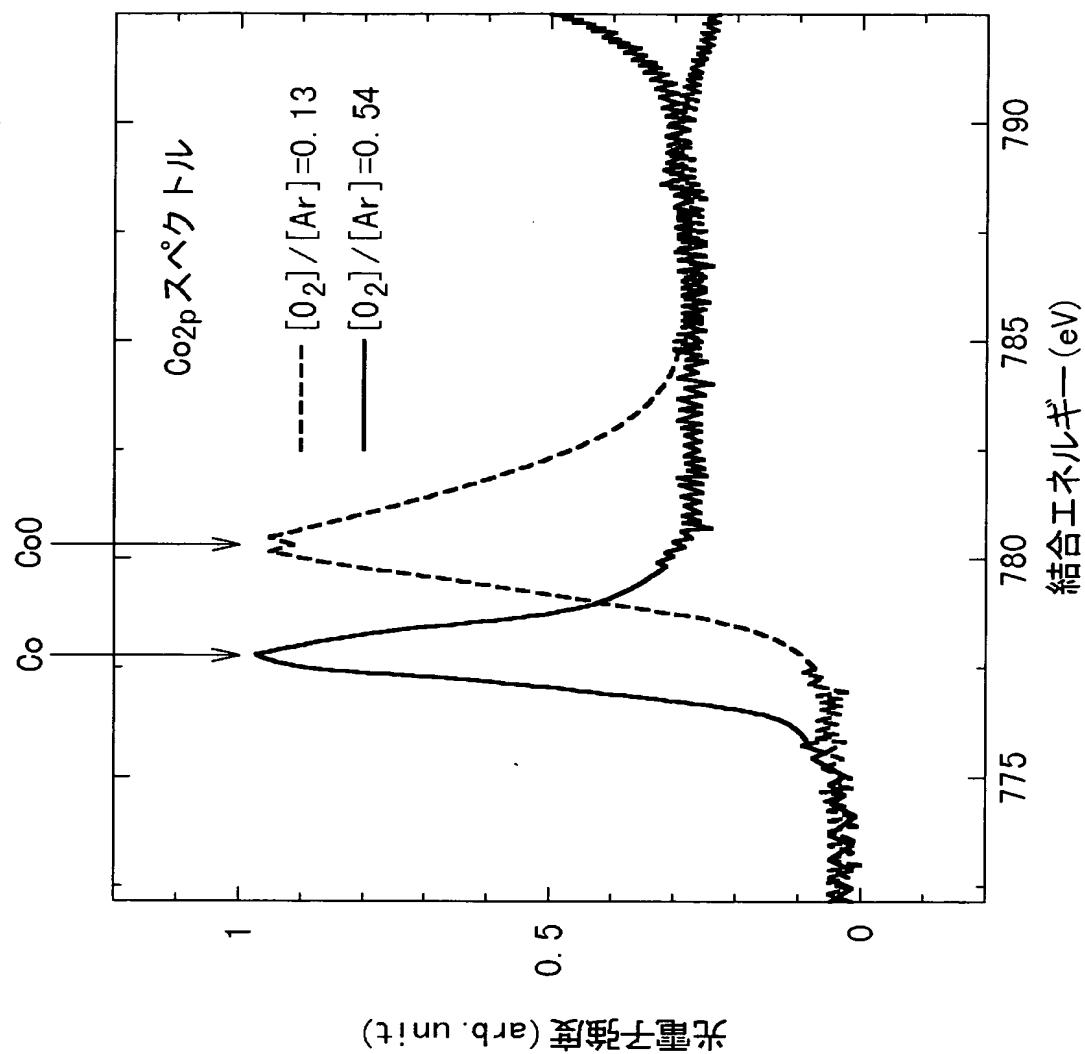
【図7】



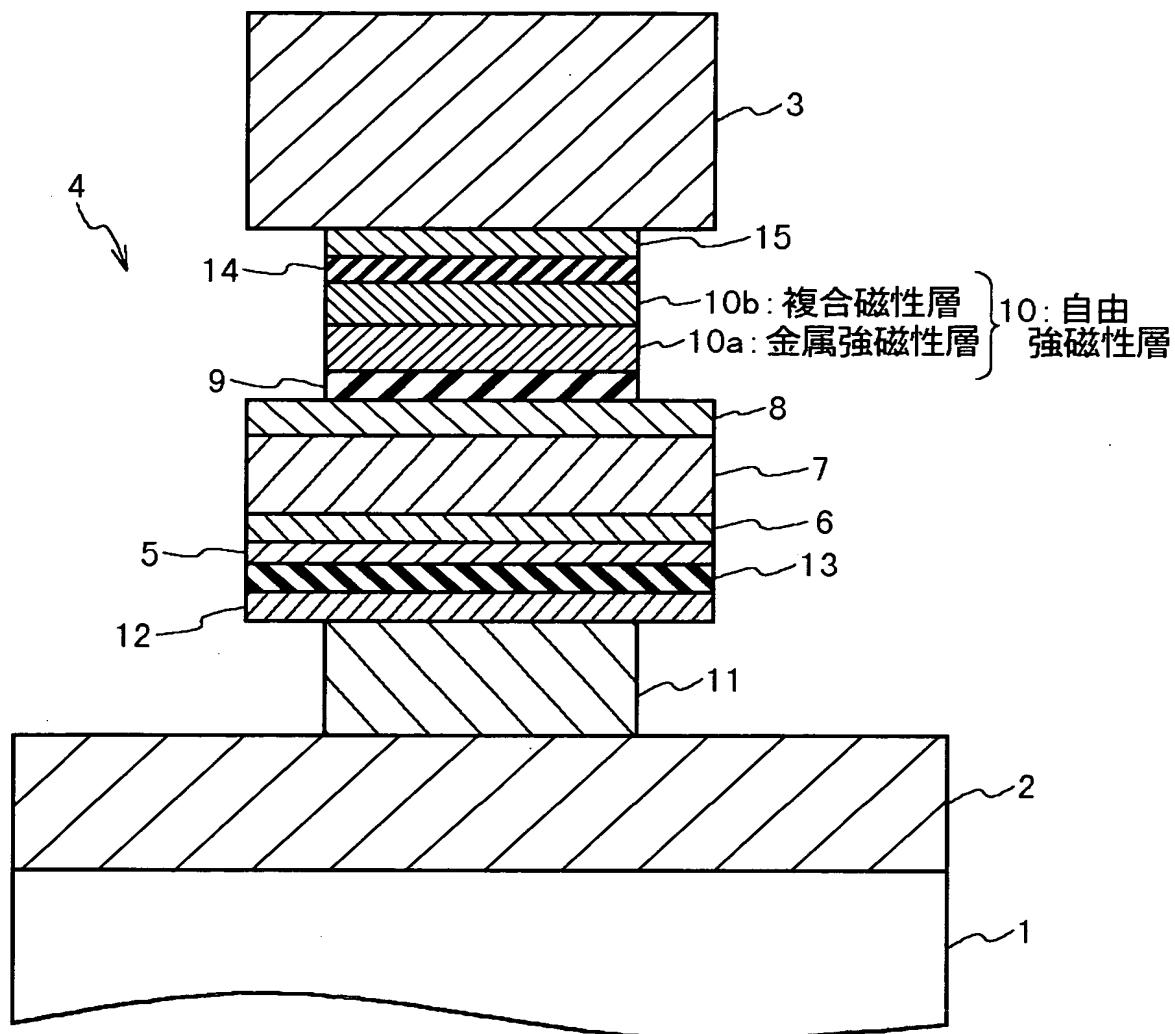
【図8】



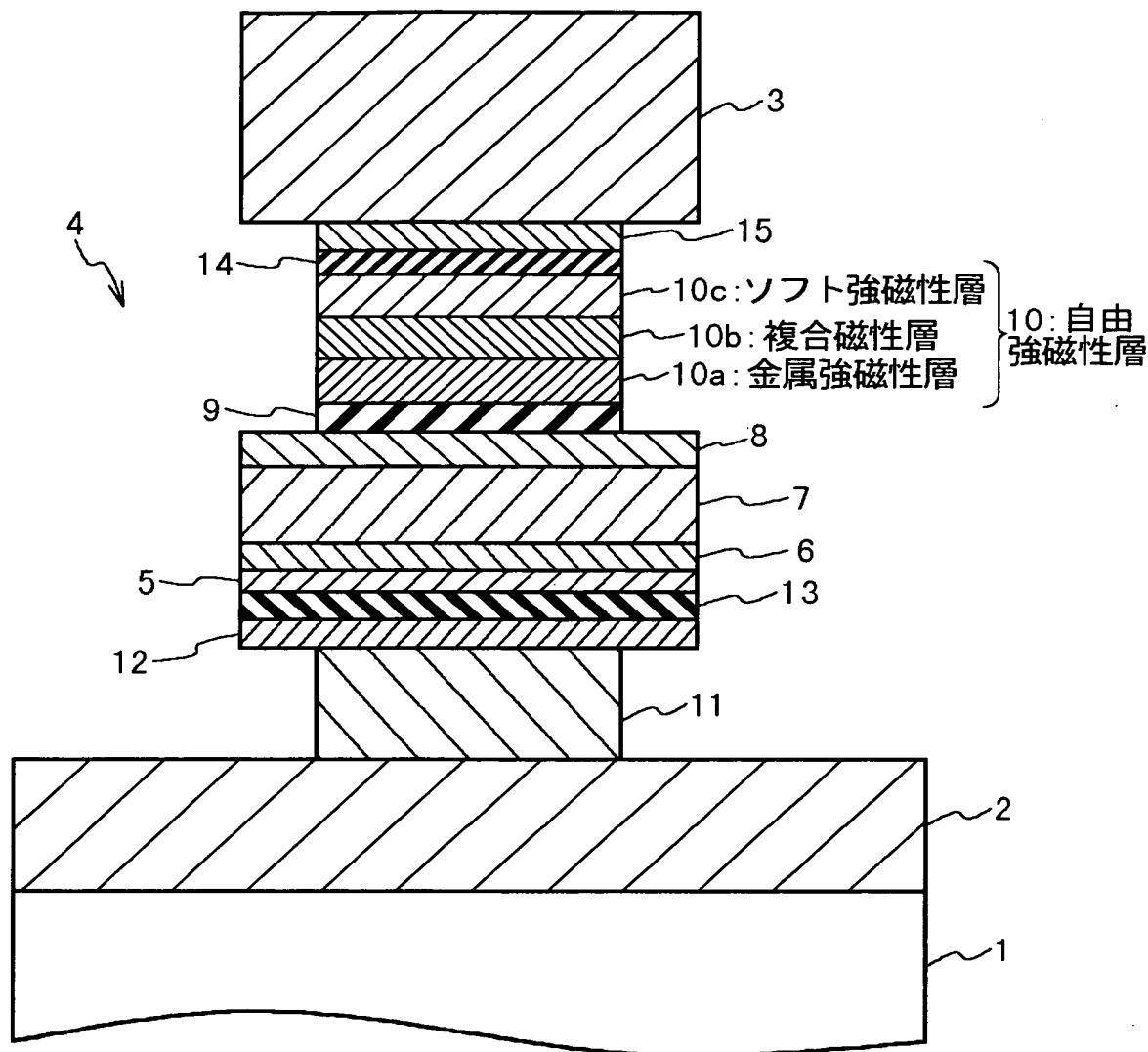
【図9】



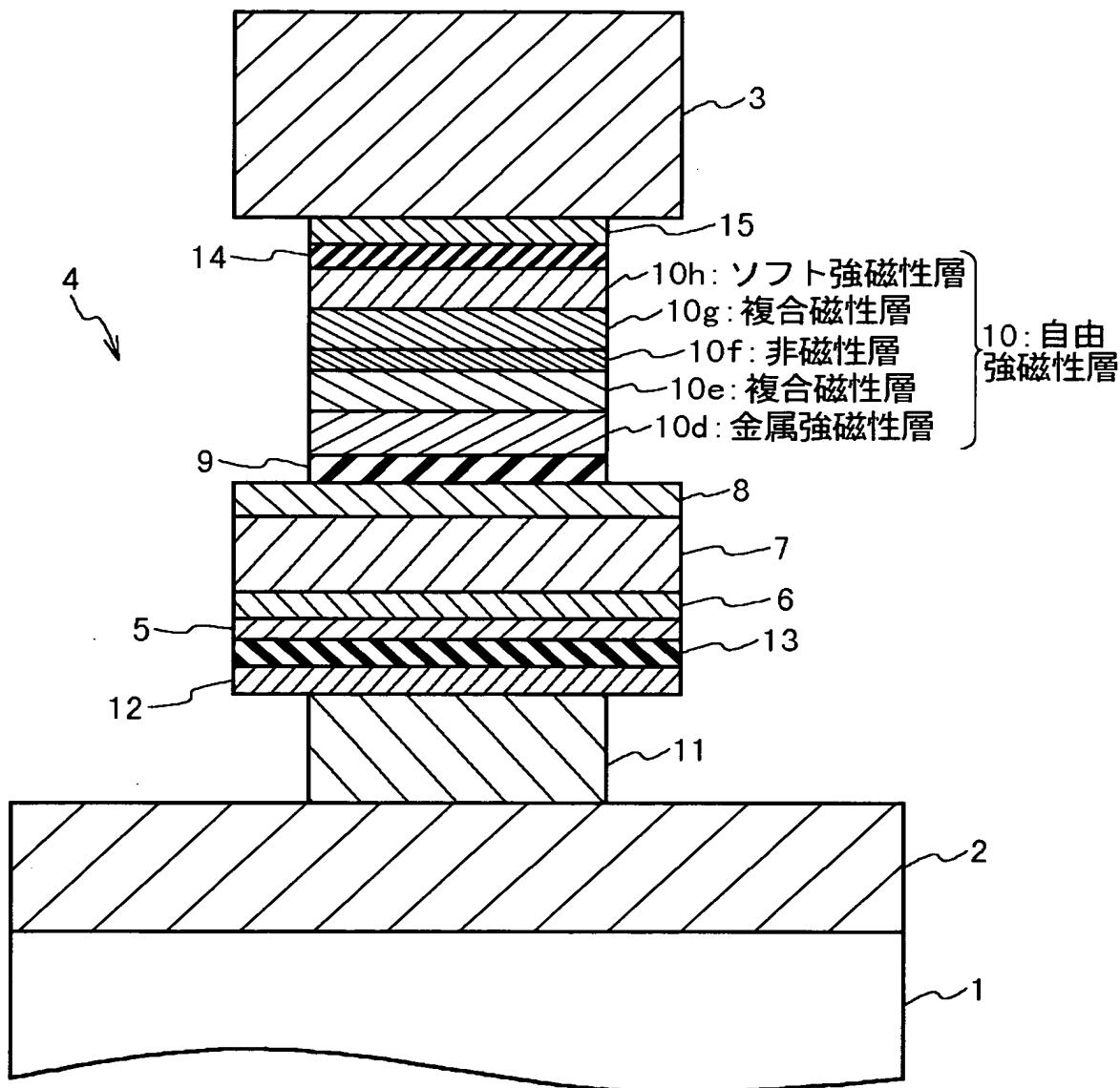
【図10】



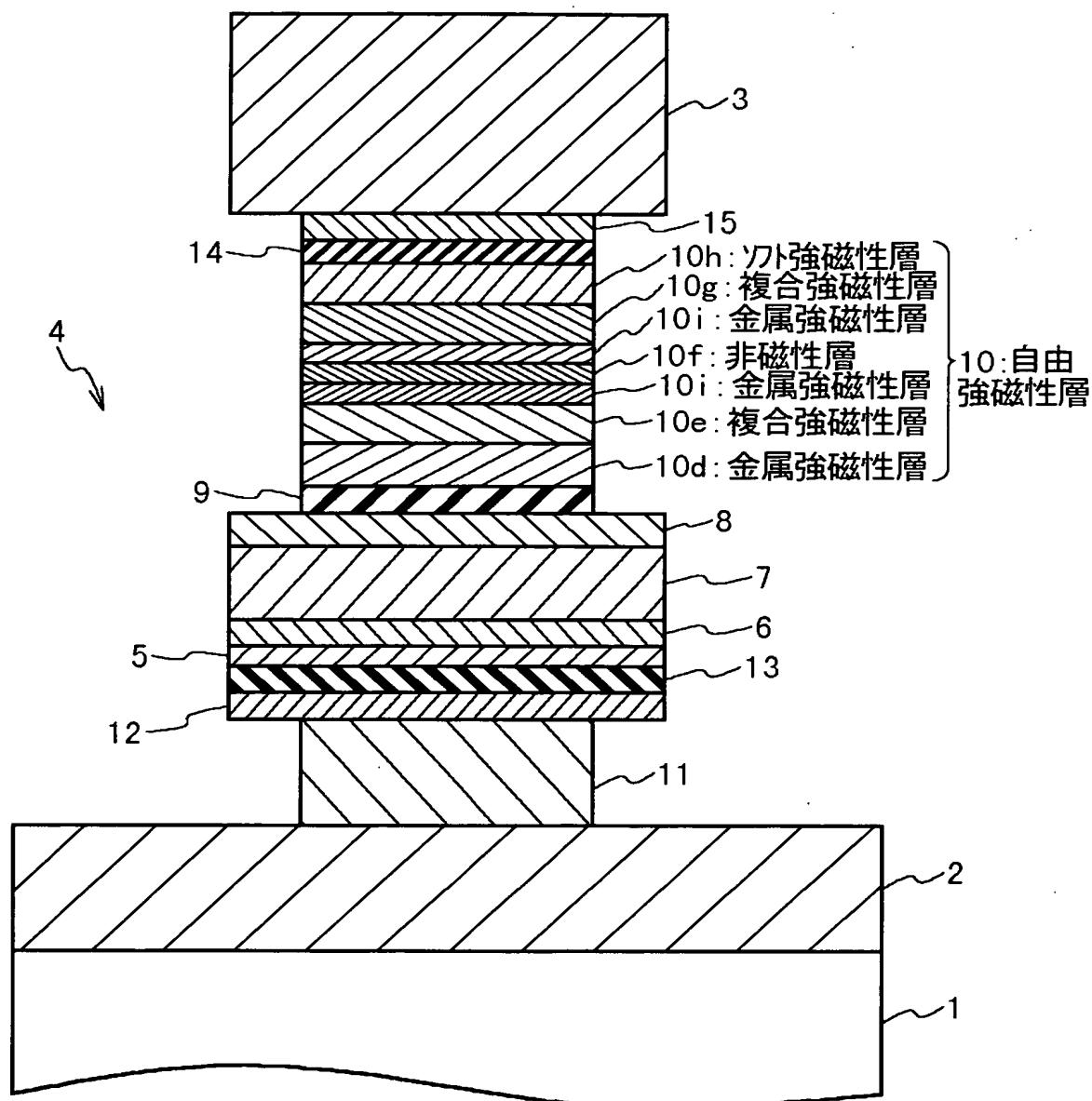
【図11】



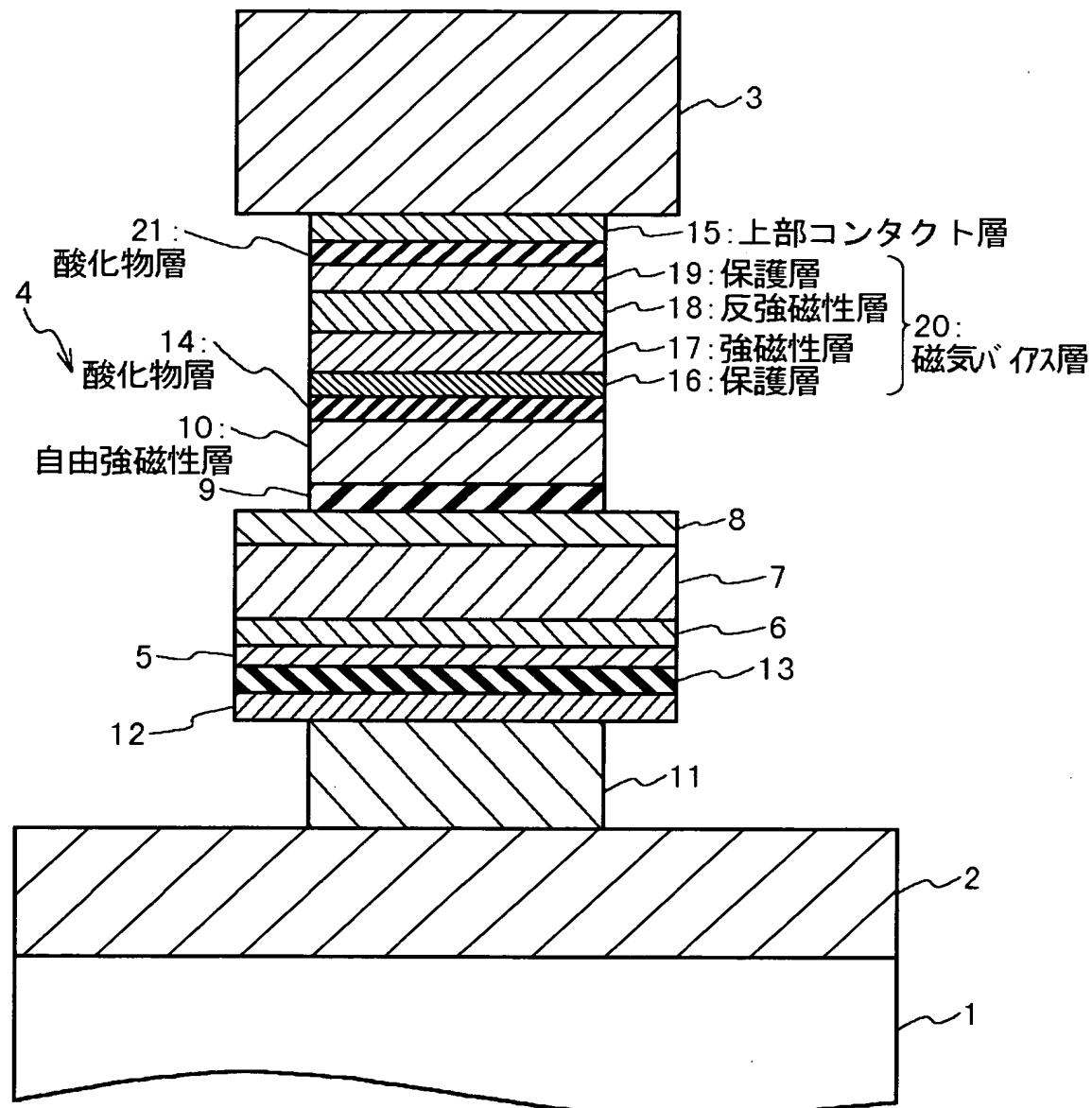
【図12】



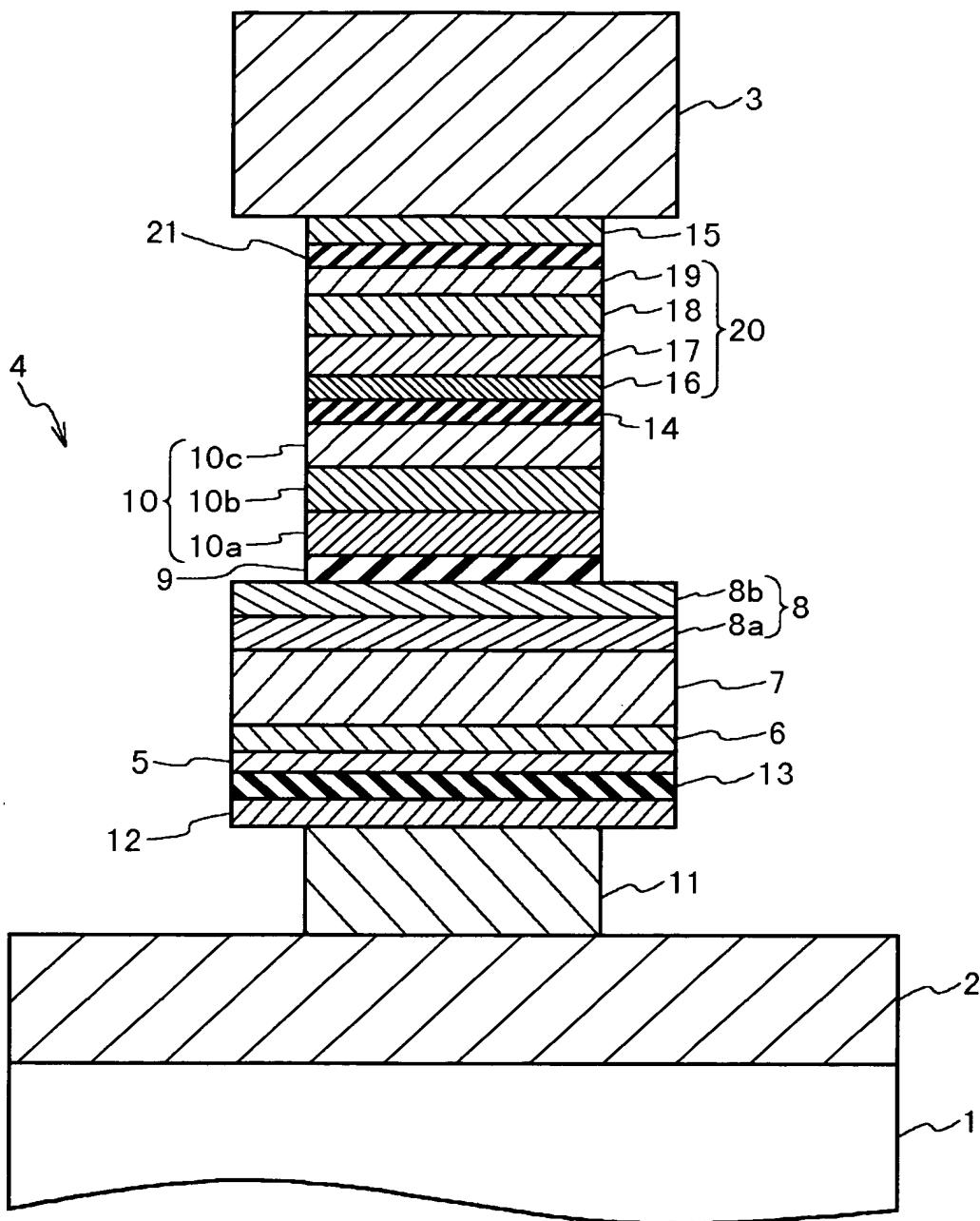
【図13】



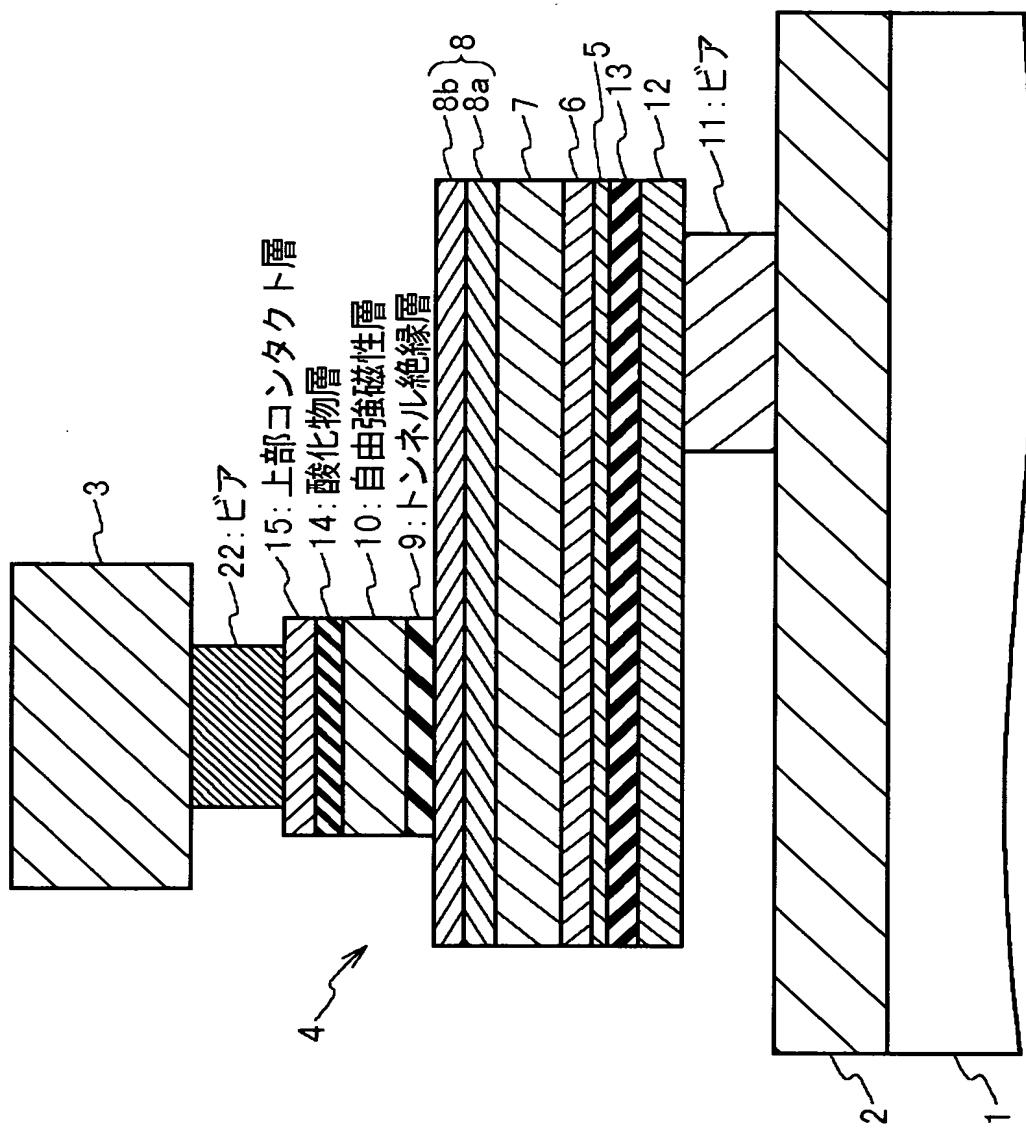
【図14】



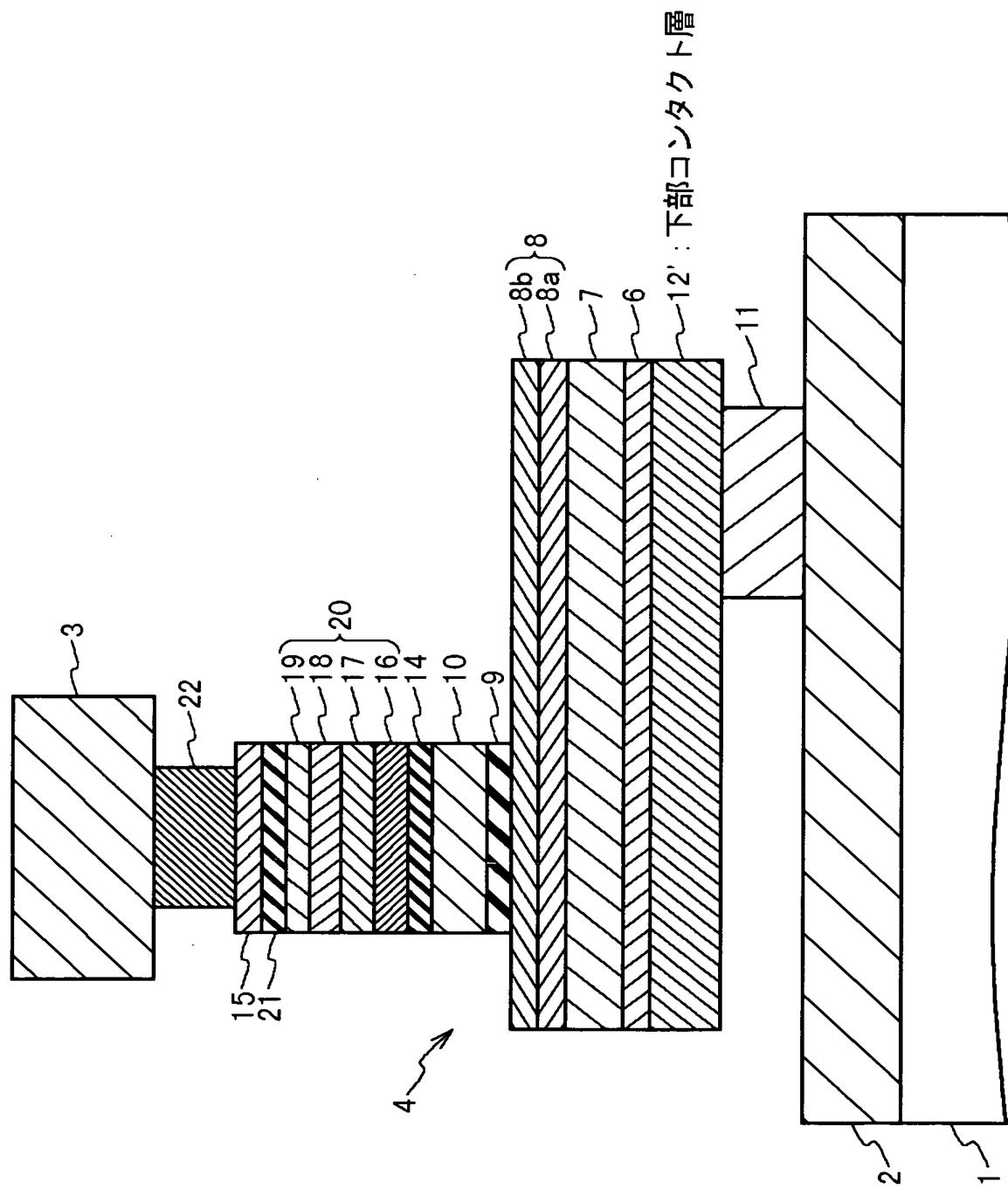
【図15】



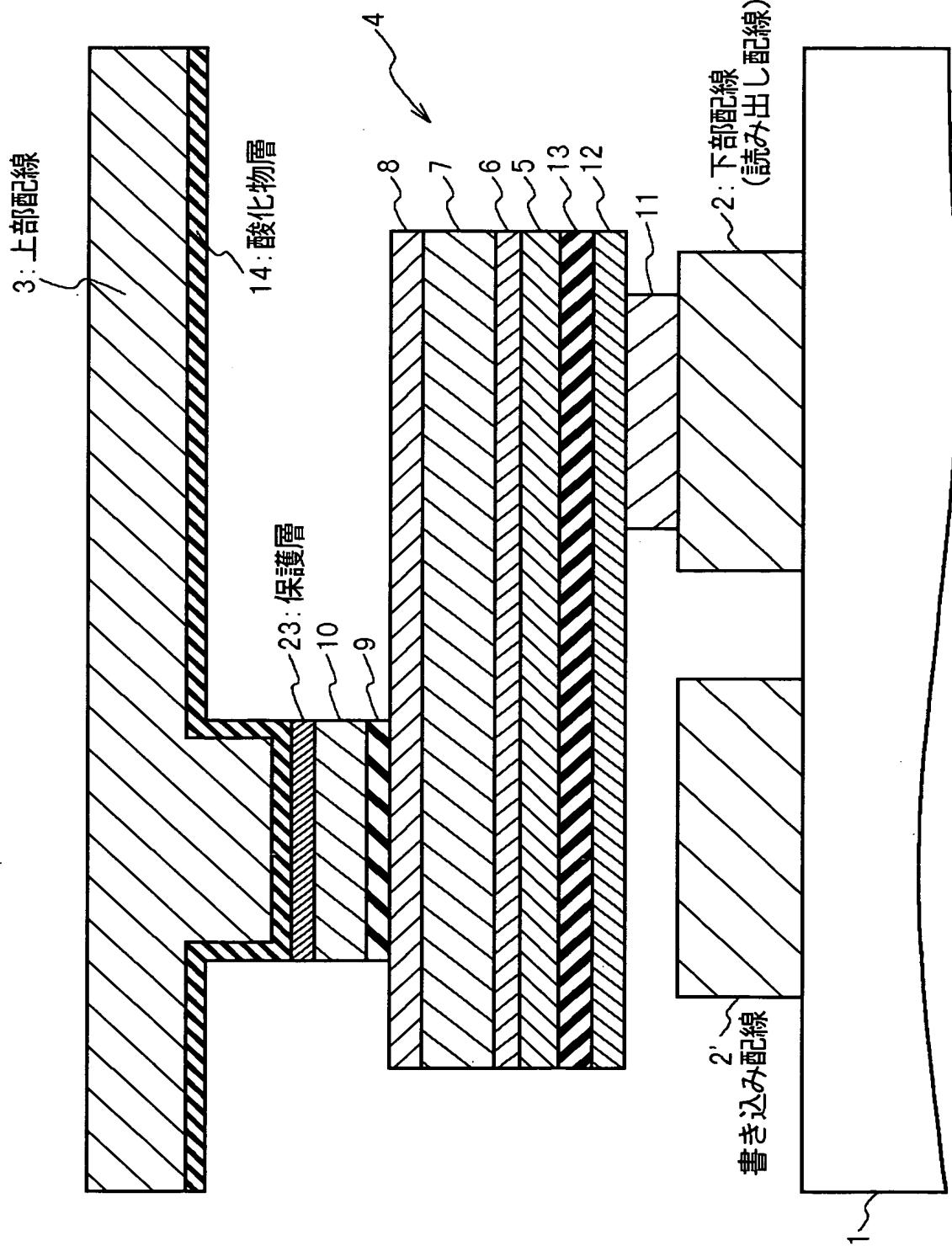
【図16】



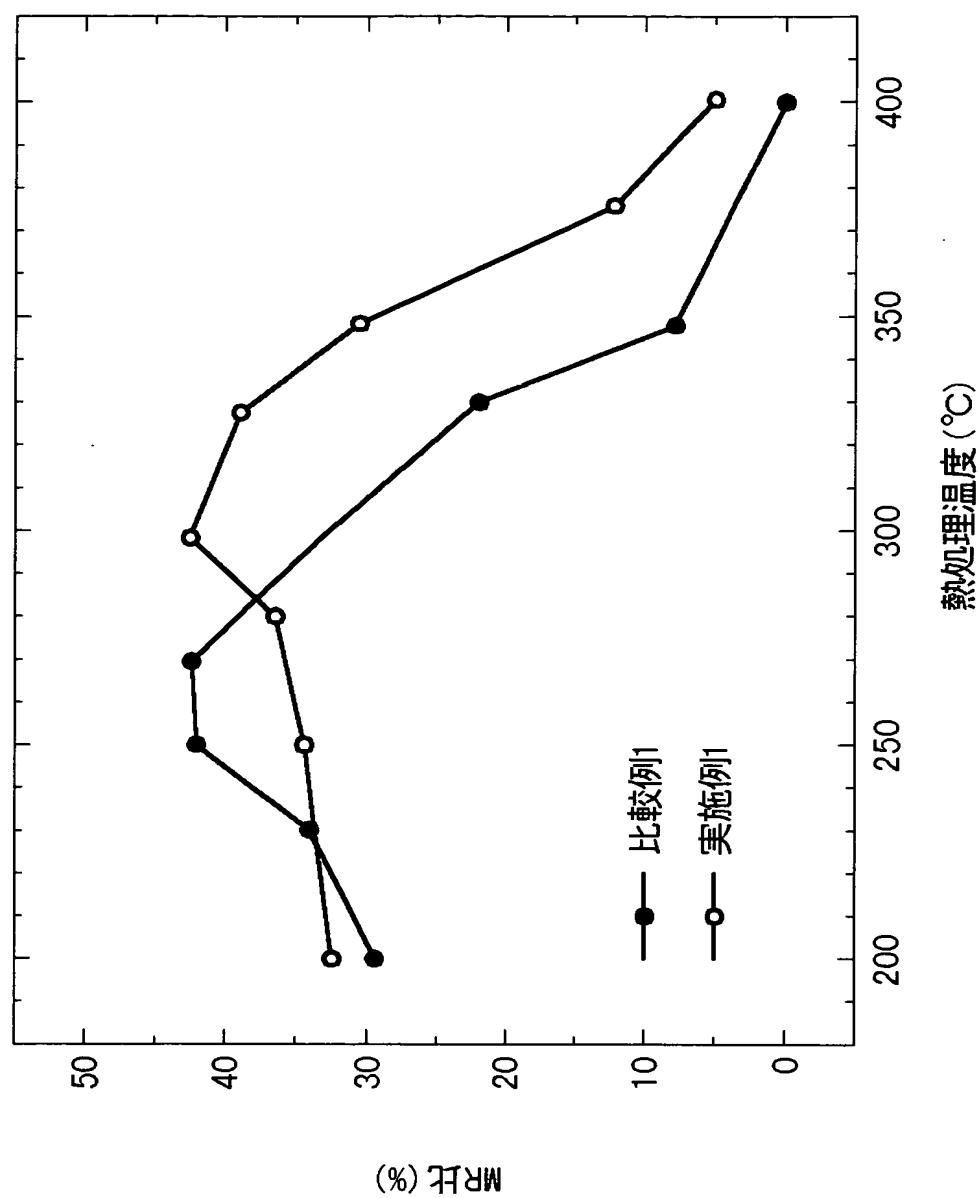
【図17】



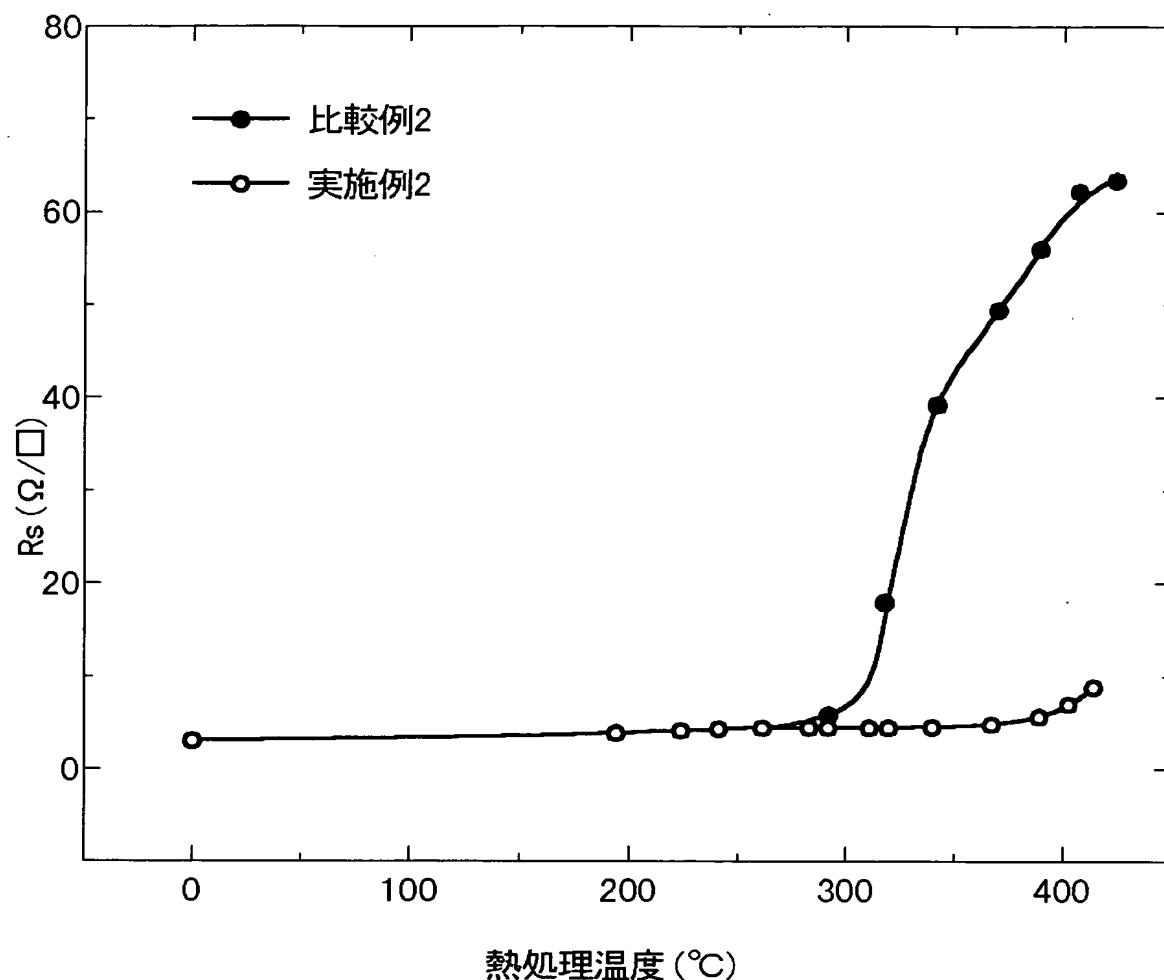
【図18】



【図19】



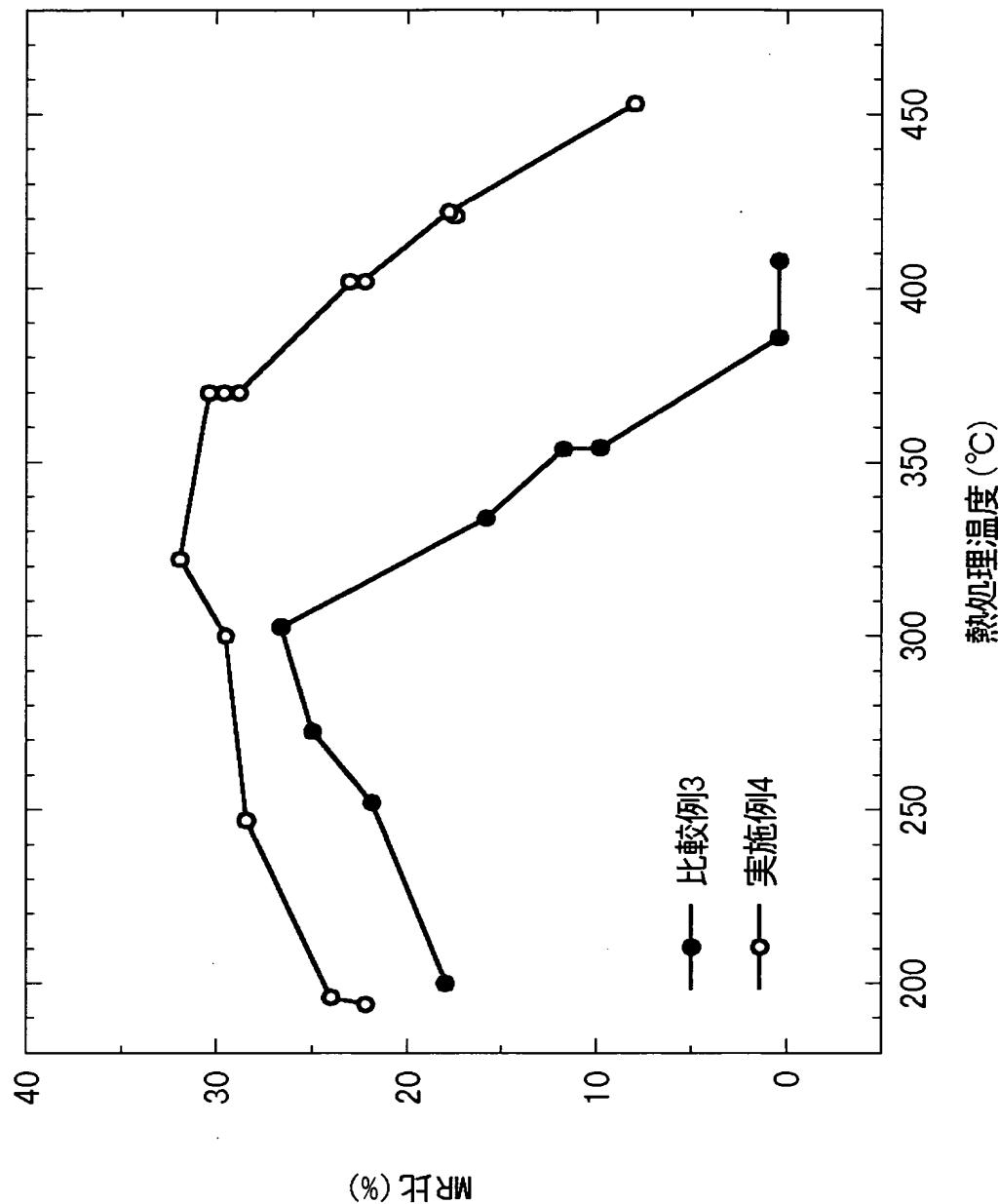
【図20】



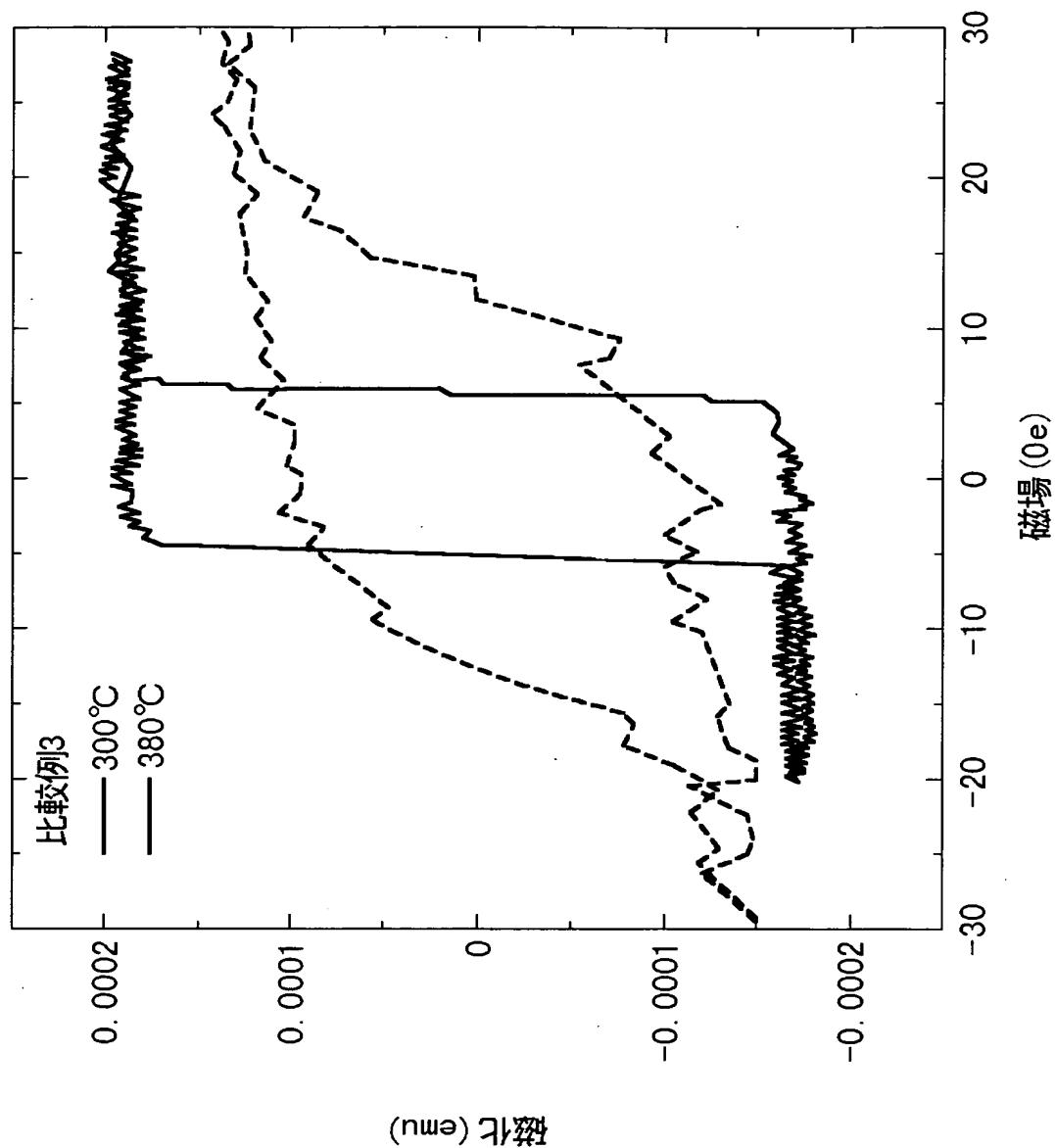
【図21】

	酸化物層13 に対応する 層	熱処理速度と熱処理後のシート抵抗(Ω/□)			
		なし	300°C	350°C	400°C
比較例2	なし	4.5	6.2	44.3	53.5
実施例2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1nm)	4.3	4.2	4	5.1
実施例3	MgO(1nm)	4.7	4.2	4.5	5.1

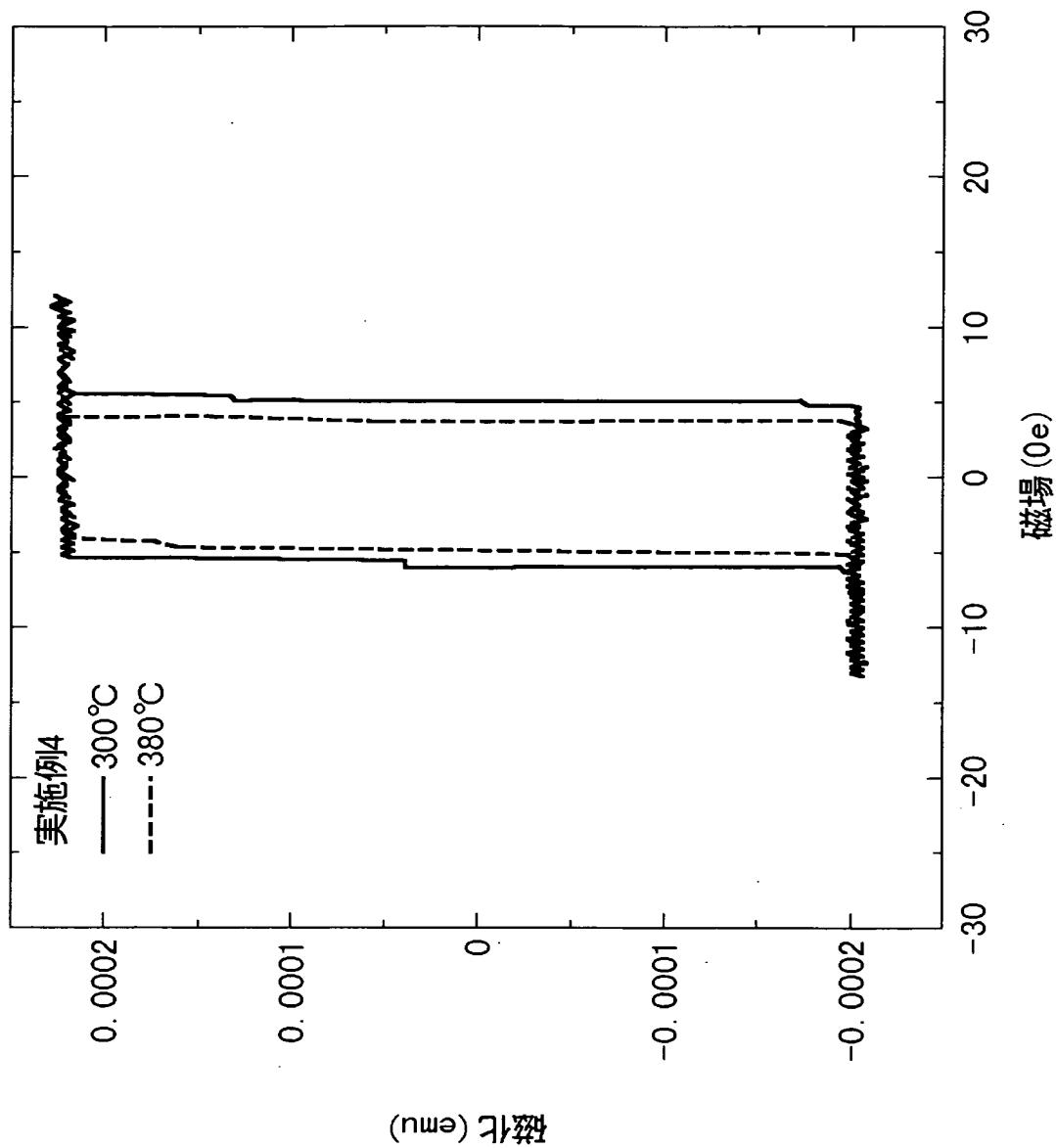
【図22】



【図23】



【図24】



【図25】

	酸化物層14 に対応する 層	熱処理速度と熱処理後の自由層飽和磁化(emu/cc)				
		なし	200°C	300°C	380°C	400°C
比較例4	なし	744	736	692	455	35
比較例5	なし	748	744	724	633	610
実施例5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1nm)	783	787	775	771	772
実施例6	Mgo (1nm)	775	771	775	774	773

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 磁気抵抗素子を他の素子に電気的に接続する導体（例えば、ビア及び配線）と、磁気抵抗素子を構成する層との間の相互拡散を防止することにより、磁気抵抗素子の熱的安定性を、一層向上する技術を提供する。

【解決手段】 本発明による磁気抵抗デバイスは、反転可能な自由自発磁化を有する自由強磁性層（10）と、固定された固定自発磁化を有する固定強磁性層（8）と、自由強磁性層（10）と固定強磁性層（8）との間に介設されたトンネル絶縁層（9）を含む磁気抵抗素子（4）と、磁気抵抗素子（4）を他の素子に電気的に接続する非磁性の導体（2，3，11）と、導体（2，3，11）と磁気抵抗素子（4）との間に設けられた酸化物層（13，14）とを備えている。

【選択図】 図1

特願 2002-319928

出願人履歴情報

識別番号 [000004237]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都港区芝五丁目7番1号

氏 名 日本電気株式会社